Conseil national de recherches Canada
Division de l'énergie
Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie

National Research Council Canada
Division of Energy
Hydrogen and Energy Storage Program

(Available in English)

Aperçu général Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie: 1979 à 1985

J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy et J.B. Taylor

Octobre 1985

Canada

CNRC nº 23468

87-04560/

Ce projet a reçu l'appui du Comité (fédéral interministériel) de la recherche et du développement énergétiques (CRDE).

This project was supported by the Federal Panel on Energy R&D (PERD).

Copyright 1987 par
Conseil national de recherches du Canada

De courtes citations et la reproduction de figures et tableaux du présent rapport sont autorisées sous réserve que la source en soit clairement mentionée.

Des exemplaires du rapport et d'autres publications de la Division de l'énergie peuvent être obtenus par courrier sur le paiement d'avance des droits requis (règlement par mandat de banque, mandat-exprès, mandat-poste ou chèque payables au Receveur général du Canada, crédit du CNRC) à l'adresse suivante:

Bureau de vente et diffusion des publications
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Prix unitaire: Gratuit

Copyright 1987 by
National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this report, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Copies of this and other publications of the Division of Energy may be obtained by mailing the appropriate remittance (a Bank, Express, or Post Office Money Order, or a cheque made payable to the Receiver General for Canada, credit NRC) to

Publication Sales and Distribution Office
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0R6

Price: Free

Available in English, NRCC No. 26487

APERÇU GÉNÉRAL

PROGRAMME DE L'HYDROGÈNE ET DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

1979 à 1985

J.E.A. Alderson, M. Hammerli,
J.R.B. Murphy J.B. Taylor

Conseil national de recherches : Division de l'énergie
Division de chimie

Octobre 1985

"NOUS NE CESSERONS JAMAIS NOTRE EXPLORATION, ET LA BUT DE TOUS NOS TRAVAUX D'EXPLORATION SERA D'ARRIVER À NOTRE POINT DE DÉPART, ET DE CONNAÎTRE L'ENDROIT POUR LA PREMIÈRE FOIS"

T.S. Eliot

TABLE DES MATIÈRES

Page

SOMMAIRE vii
1. INTRODUCTION 1
2. PARAMÈTRES DE DÉPART 2
Mandat 2
Base de données 4
Ressources énergétiques et prévisions 6
Base des ressources intellectuelles 12
Base des ressources industrielles 13
3. ORGANISATION DU PROGRAMME 16
4. OBJECTIFS DU PROGRAMME 19
Production d'hydrogène 19
Utilisation de l'hydrogène 19
Stockage de l'énergie 19
Recherche en électrochimie 20
5. STRATÉGIE 22
6. CONTENU DU PROGRAMME 25
Production d'hydrogène 25
Hydrolyse de l'eau 25
Photoproduction de l'hydrogène 28
Production thermique d'hydrogène 28
Utilisation de l'hydrogène 29
Piles à combustible 29
Moteurs 30
Stockage de l'hydrogène 32
Sécurité des systèmes à hydrogène 33
Analyse des systèmes à hydrogène 35
Stockage de l'énergie 35
Accumulateurs perfectionnés 35
Sous-systèmes de véhicules sans hydrocarbures 36
Stockage thermique 38
7. RAPPORTS CANADIENS EXTERNES 41
"Documentation sur les options en matière de combustibles liquides" 41
"Alternative Transportation Fuels for Ontario" 42
"Énergies de remplacement" 42
Rapport du Ontario Hydrogen Energy Task Force 45
Le rôle de l'hydrogène dans l'économie du Québec 47
"Alternative Transportation Fuels Utilisation Review" 50
"Véhicules électriques en Ontario" 52
Électricité 53
Transport 53
Véhicules électriques 53
8. ACTIVITÉ INTERNATIONALE 55

TABLE DES MATIÈRES (suite et fin)

Page

9. PRINCIPAUX ÉVÉNEMENTS 59
10. RÉALISATIONS TECHNIQUES 63
11. QUESTIONS D'ORGANISATION ET DE GESTION 68
12. DÉFIS ET POSSIBILITÉS À VENIR 70
13. RÉFÉRENCES 72
ANNEXE A : MEMBRES DU COMITÉ ASSOCIÉ SUR LES SYSTÈMES DE CONVERSION ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ET LES SYSTÈMES À L'HYDROGÈNE 77
ANNEXE B : HYDROGÈNE : FUTURE ACTION INTERNATIONALE COOPÉRATIVE . . . 79
INTRODUCTION 79
LE RÔLE FUTUR DE L'HYDROGÈNE 80
PROBLÈMES ACTUELS 81
RÉPONSE PROPOSÉE 83
BESOINS EN RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT 85
ANNEXE C : LISTE DES RAPPORTS 89
ANNEXE D : PRINCIPAUX PARTICIPANTS 107

LISTE DES FIGURES

1 Répartition des principales sources d'énergie au Canada depuis 1871 8
2 Offre et demande canadiennes : pétrole (1970-1971; scénario de prix faible) 8
3 Pourcentages des resources énergétiques 9
4 Base de ressources et potentiel hydroélectrique 9
5 Base de ressources en énergie nucléaire 10
6 Consommation du pétrole au Canada par secteur 10
7 Besoins prévus de l'économie canadienne en hydrogène 10
8 Augmentation de la part des secteurs de la demande d'hydrogène . . 11
9 Tendances nationales dans la production future d'hydrogène 12
10 Organigramme du programme 16
11 Programme coopératif de l'AIE sur l'hydrogène 55
12 Processus d'approbation pour la R et D fédérale sur l'énergie . . 69
B-1 Évolution normale, de la R et D à l'application 84

LISTE DES TABLEAUX

1 Programme de l'hydrogène de l'AIE (participation et répresentation nationales) 56

SOMMAIRE

Cet aperçu général du Programme canadien de l'hydrogène et du stockage de l'énergie n'est en fait qu'un compte rendu de la période de 1979 à 1985 au cours de laquelle le Conseil national de recherches Canada avait la responsabilité de la gestion technique de programme.

Ce document présente divers paramètres de départ qui ont défini la portée du programme et le contexte dans laquel ce programme à été entrepris. On y traite du mandat des ministères concernés et de la base de données, ainsi que des ressources énergetiques, intellectuelles et industrielles disponibles à ce moment.

Le principal facteur influant sur le contenu du programme était la prévision de la diminution croissante de la disponibilité du pétrole et de l'augmentation de l'approvisionnement en électricité des Canadiens en énergie. Il a été reconnu que le stockage de l'énergie et les systèmes à l'hydrogène faciliteraient grandement cette transition, que l'électrochimie, la discipline scientifique la plus appropriée, n'était pas fortement représentée au Canada et que l'on ne devrait pas s'attendre à ce que l'utilisation de ces techniques ait un impact à court terme.

La principale force de la base de ressources industrielles pour l'hydrogène est l'industrie canadienne de la fabrication des électrolyseurs d'eau, qui exporte dans le monde entier depuis de nombreuses années. Dans le secteur du stockage de l'énergie, et particulièrement des piles électriques, la présence canadienne était très limitée.

Le mode de fonctionnement de ce programme était basé sur un plan directeur plutôt que sur la réponse à la demande; cependant, il a évolué en tenant compte des initiatives canadiennes extérieures au programme, principalement en Ontario et au Québec. Ce programme était appuyé par un comité consultatif. Les activités du programme ont été rendues publiques suite à des demandes faites par le ministère des Approvisionements et Services et par la publication d'un compte rendu annuel des activités.

L'objectif global était d'assurer les capacités du Canada dans les domaines étudiés et des objectifs particuliers ont été définis dans quatre sous-programmes portant sur la production d'hydrogène, l'utilisation de l'hydrogène, le stockage de l'énergie et la recherche en électrochimie. Les stratégies adoptées pour atteindre les objectifs du programme ont été conçues en fonction de circonstances particulières, les principales influances étant la disponibilité des ressources et l'importance connue de la recherche dans les autres pays. Le présent rapport contient un bref résumé de

contenue et du contexte des activités, et les annexes donne une liste complète des rapports produits dans le cadre des travaux de ce programme. L'un des principaux rôles du programme était de fournir des informations aux gouvernements et aux organismes de réglementation en ce qui a trait à l'état d'avancement de la technologie et aux perspectives des diverses activités de la recherche. Tout au long de cette période, on a tenté de créer un centre d'intérêt et de coordonner toutes les activités canadiennes connexes.

Les activités internationales faites en vertu de l'accord de L'AIE sur l'hydrogène ont été fortement encouragées. Ces activités étaient considérées comme plus productives étant donné qu'elles permettaient aux Canadiens d'avoir accès aux progrès techniques étrangers ou d'en prendre connaissance et de bénéficer des ressources intellectuelles communes par le biais de réunions, d'ateliers et d'échanges techniques.

Les événements importants ou les progrès significatifs sont énumérés pour donner un bref aperçu chronologique du progamme. Les réalisations techniques du programme sont présentées dans les techniques connexes, et des améliorations et prévisions sont également indiquées pour les projets canadiens.

Enfin, il y a un bref examen des défis et des possibilités qui découlent de ce programme.

APERÇU GÉNÉRAL
PROGRAMME DE L'HYDROGÈNE ET DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE
1979 à 1985

J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy, and J.B. Taylor

1. INTRODUCTION

Ce document est conçu pour répondre à plusieurs besoins.

Premièrement, il résume ce qui s'est passé en définissant le contexte à l'extérieur duquel le programme a été conçu et en donnant un compte rendu de ce qui a été accompli.

Deuxièmement, il nous fait part des compétences individuelles (les ressources intellectuelles) et des documents écrits.

Finalement, il examine les aspects de l'organisation et de la gestion du programme et identifie les futurs défis et possibilités techniques.

Le lecteur doit savoir que le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie portait principalement sur les objectifs à long terme et que sa structure et son contenu reflètent cet état des choses. Il faut également rappeler que l'arrêt brusque du programme était tout à fait imprévu de telle sorte que le train croissant des activités prévues n'a pas pu se mettre en branle et que les ressources intellectuelles accumulées ont vite été dispersées. Il est peu probable que l'on puisse assembler de nouveau ces mêmes ressources si le besoin s'en faisait sentir. Et pourtant, il est très probable que les questions énergétiques redeviendront prédominantes. Certains affirment même que c'est inévitable. De plus, il est très probable que bien avant que les ressources en hydrocarbures s'épuisent de façon critique, il faudra se pencher sur les questions d'ordre environnemental. Les problèmes de ce genre ne peuvent être résolus que par l'adoption de nouvelles formes d'énergie, particulièrement à cause de l'accumulation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Nous espérons que le présent document permettra à ceux qui viennent après nous de faire le point facilement sur la direction générale et le contenu du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

2. PARAMÈTRES DE DÉPART

Mandat

Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était régi par deux principaux mandats : celui de l'organisme responsable du financement, c'est-à-dire le Comité interministériel de la recherche et du développement énergétiques, et celui de l'organisme opérationnel, Conseil national de recherches du Canada (CNRC).

Le mandat du Comité interministériel est résumé dans le rapport du Groupe de travail de 1975 (1). Le rapport reconnaît cinq activités générales pour ce qui est de la recherche et du développement énergétiques actuels, notamment : la conservation, les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire, les ressources renouvelables, ainsi que le transport et la transmission de l'énergie. Le Programme sur les systèmes de conversion et de stockage d'énergie et sur les systèmes à l'hydrogène, qui est ensuite devenu le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie (Secteur des nouveaux combustibles liquides) était l'un des dix programmes permanents du Secteur de la conservation. Il était indiqué dans le Programme national de l'énergie de 1980 (2) que l'accent en matière de R et D devrait être mis sur les nouvelles priorités suivantes :

> Les trois priorités de cet effort accru sont :
>
> - Solutions de remplacement pour le pétrole. Le Canada dispose de nombreux combustibles de remplacement. Le défi consiste à trouver le plus prometteur et assurer le soutien nécessaire pour sa commercialisation, de façon à ce que notre dépendance vis-à-vis du pétrole soit rapidement réduite dans le secteur du transport. La recherche et le développement permettront aux Canadiens de savoir quelles solutions sont faisables du point de vue technique, acceptables du point de vue environnemental et rentables.
>
> - Une meilleure utilisation de l'énergie dans tous les secteurs de l'économie.
>
> - De nouvelles ressources énergétiques allant du charbon (pour lequel on doit élaborer une technologie d'utilisation environnementalement sans danger) à l'hydrogène, qui constitue une option prometteuse pour les générations à venir.

En 1982, la Mise à jour du PNE (3) réaffirmait le rôle central de la R et D et des priorités susmentionnées. La reconnaissance du rôle de l'hydrogène et de l'électricité convient très bien à ce programme :

> Le gouvernement de l'Ontario appuie la recherche importante qui se fait dans le domaine des combustibles liquides de remplacement en mettant de plus en plus l'accent sur les réalisations dans le domaine de l'hydrogène. Les compagnies d'électricité de la Colombie-Britannique, de la

> Saskatchewan, de l'Ontario et du Québec entreprennent d'importants programmes de recherche visant à améliorer l'efficacité de la production, de la transmission, de la distribution et de l'utilisation de l'électricité.

Dans sa réponse au rapport du Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole au Parlement canadien (4), il est mentionné :

> Le Comité insiste sur les possibilités de l'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau, qui représente une importante source d'énergie de l'avenir au Canada. En 1982-1983, le gouvernement fédéral augmentera ses dépenses en recherche appliquée sur l'hydrogène à 5 millions de dollars et cette somme pourrait doubler en 1984-1985.

Les aspects les plus appropriés du mandat du Conseil national de recherches sont définis dans le texte suivant, extrait de "Un investissement urgent, plan à long terme pour le Conseil national de recherches du Canada" (5).

> PROGRAMME DE RECHERCHES À CARACTÈRE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL
>
> Objectif
>
> - Créer et acquérir des connaissances scientifiques et techniques pour répondre aux besoins canadiens en matière de développement économique, régional et social et en promouvoir l'application.
>
> Sous-objectifs
>
> - Créer au Canada un milieu propice à la quête de nouvelles connaissances scientifiques et techniques;
>
> - promouvoir, encourager et soutenir le développement, au sein de l'industrie canadienne, d'un potentiel solide et durable de recherche et de développement dans les domaines scientifiques et techniques;
>
> - être en mesure de faire face rapidement et efficacement aux besoins futurs en matière de compétences scientifiques, de savoir-faire technique et d'analyse en profondeur des problèmes scientifiques et technologiques, tant nationaux qu'étrangers;
>
> - être en mesure de lancer des programmes de recherche et de développement scientifiques et technologiques majeurs pour répondre aux priorités et aux besoins nationaux anticipés;
>
> - répondre aux besoins canadiens en ce qui concerne les normes et les critères, ainsi que les installations nationales majeures destinées à la recherche scientifique et technique;
>
> - contribuer à la satisfaction des besoins régionaux en matière de recherche et de développement dans le domaine des sciences et de la technologie d'une manière coordonnée et efficace, en collaboration avec les organismes de recherche fédéraux et provinciaux, les universités et les industries locales.

Le même document traite également de l'énergie, question économique nationale, en ces termes :

> L'exploitation des vastes ressources énergétiques canadiennes demeurera une urgente priorité nationale pour l'avenir prévisible. La nécessité pour le Canada d'acquérir une certaine souplesse sur le plan énergétique l'oblige à investir considérablement dans la R et D en vue d'exploiter de nouvelles sources d'énergie à mesure que les gisements de pétrole et de gaz naturel se tariront.
>
> Il existe depuis un certain nombre d'années un programme fédéral intégré de R et D placé sous la direction générale du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Ce programme est planifié, coordonné et suivi par le Comité (interministériel) de la R et D énergétiques. Récemment, ce comité a accordé la priorité la plus élevée aux projets de R et D visant à économiser l'énergie et à accroître les approvisionnements en pétrole et en gaz naturel à court terme. Ces efforts devront être maintenus pendant la plus grande partie de cette décennie. Il faudra accroître la recherche liée à l'énergie nucléaire du fait que l'on accordera une attention plus grande à l'élimination des déchets radioactifs, ainsi qu'à l'étude de l'emploi du thorium comme combustible nucléaire et à la mise sur pied d'un programme de fusion thermonucléaire contrôlée.
>
> Le CNRC est membre de ce comité et assume la responsabilité de plusieurs éléments du Programme national sur la R et D énergétiques. Le CNRC poursuivra avec vigueur la mission spéciale dont il a été investi dans le cadre du programme sur la R et D énergétiques en favorisant le développement de ces activités dans les domaines qui lui ont été assignés, c'est-à-dire ceux des énergies renouvelables, de l'économie de l'énergie dans les bâtiments, de la création de banques de données liées à l'énergie et de services connexes, ainsi que de l'évaluation des options énergétiques à long terme comme la fusion thermonucléaire contrôlée.
>
> L'utilisation de l'hydrogène comme combustible, ainsi que toutes les formes d'énergie renouvelables et la réduction des importations de pétrole par l'exploitation du charbon et des sables bitumineux canadiens, nécessiteront dans chaque cas des investissements substantiels en R et D tout au long de la décennie en cours. Ceci nous conduit au troisième thème du plan, l'énergie.

Base de données

Au moment où ce programme a été entrepris, toutes nos utilisations actuelles de l'hydrogène étaient déjà connues mais cela n'incluait pas l'utilisation de l'hydrogène comme énergie de remplacement. Les informations techniques portant sur cet aspect étaient très dispersées dans la documentation. Voici certains des rapports et des publications qui méritent le plus notre attention en ce qui a trait au Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie :

- "Energy Depot Program - Technical Feasibility Study" (6). Cette étude faite par General Electric pour le compte de l'armée américaine évaluait

l'ammoniac comme combustible de moteur et avait comme objectif de trouver un combustible qui pourrait libérer les forces armées de leur dépendance vis-à-vis des combustibles à base d'hydrocarbures. Cette étude est celle qui se rapproche le plus du remplacement méthodique et documenté d'un combustible.

- "A Hydrogen-Energy System" (7) explorait les aspects techniques de la possibilité d'une industrie énergétique basée sur l'hydrogène pour le stockage de l'énergie. La source d'hydrogène anticipée était au départ le gaz naturel et les combustibles fossiles pour ensuite être remplacée par des ressources électriques renouvelables à mettre au point.

- L'"International Journal of Hydrogen Energy" (8) est le journal officiel de l'Association internationale pour l'énergie hydrogène. Il a été publié pour la première fois en 1976 et demeure encore aujourd'hui le seul journal international consacré à la recherche et au développement en matière d'hydrogène.

- Les Conférences mondiales sur l'énergie hydrogène (9) ont été organisées conjointement avec l'Association internationale pour l'énergie hydrogène. La première conférence résultait de l'intérêt quant aux bienfaits environnementaux espérés d'une importante utilisation de l'hydrogène comme combustible. Les conférences biennales subséquentes dont les comptes rendus ont été publiés se sont tenues à Zurich en 1978 (10), à Tokyo en 1980 (11), à Pasadena en 1982 (12) et à Toronto en 1984 (13).

- "Hydrogen As A Fuel" (14) était un rapport de l'Hydrogen Panel du Committee on Advanced Energy Storage Systems, préparé à la demande de l'Energy Storage Systems Division de l'U.S. Department of Energy, qui était responsable de ces travaux de recherche et de développement sur l'hydrogène. On y demandait des critères appropriés pour établir le rythme, l'échéancier et le contenu technique de programmes appropriés de recherche et de développement et on considérerait que l'examen de l'état actuel ainsi que des problèmes des utilisations principales de l'hydrogène constituait un travail parallèle nécessaire de développement.

- "Proceedings of the Annual Contractors' Review Meetings" (15) : ce sont des rapports des travaux faits à contrat pour l'U.S. Department of Energy. Les comptes rendus portant sur les contrats en matière d'énergie thermique, de stockage chimique et d'énergie électrochimique étaient particulièrement pertinents et constituaient une mise à jour des progrès réalisés par les programmes américains parallèles.

- "Le remplacement du pétrole par l'électricité" (16) démontrait que l'autosuffisance en matière d'énergie par le remplacement du pétrole par

l'électricité constituait une option uniquement canadienne étant donné que le Canada possède une immense capacité hydroélectrique et des capacités nucléaires prouvées. Le gaz naturel était considéré comme un moyen d'adoucir la transition et le remplacement dans le secteur du transport était considéré comme étant le facteur technique limitatif d'une conversion presque complète.

- "Energy Storage: A Review of Recent Literature" (17) décrivait la situation technique et économique des méthodes réversibles de stockage de l'énergie en ce qui a trait aux besoins canadiens.

Ressources énergétiques et prévisions

On a identifié deux directions générales allant dans le sens de l'autosuffisance énergétique et tenant compte de la limitation des réserves de pétrole classique. Il s'agit, premièrement, de la réduction de la demande par la conservation et une utilisation plus efficace de l'énergie et, deuxièmement, de l'identification des énergies et des combustibles de remplacement. Or, l'hydrogène et le stockage de l'énergie n'ajoutent aucune énergie additionnelle à nos ressources énergétiques, mais cependant, l'un ou l'autre peut rendre l'utilisation des énergies disponibles plus économique, plus efficace ou plus pratique. À cet effet, en tant que vecteur énergétique, l'hydrogène ressemble à l'électricité, tout en ayant l'avantage d'être plus facile à stocker. Afin d'identifier les conditions nécessaires pour que l'hydrogène et le stockage de l'énergie puissent contribuer aux buts visés, il fallait d'abord évaluer les principales ressources énergétiques disponibles avec lesquelles l'hydrogène doit être compatible. Les figures suivantes présentent certaines prévisions et faits pertinents.

Figure 1 indique le principal mélange énergétique au Canada depuis 1871, démontre l'importance de la pénétration du pétrole ainsi que le pourcentage de pénétration des sources énergétiques de remplacement. La tendance indiquée par ces courbes était apparemment considérée par plusieurs comme étant inévitable, étant donné que celles-ci sont relativement peu perturbées par des événements naturels ou autres. Il faut remarquer que les remplacements précédents d'énergie indiqués dans cette figure ont été faits suite au choix d'une meilleure forme d'énergie et non suite à une pénurie.

Figure 2 offre et demande nationales : La courbe pétrole (1979-1990 : scénario d'un prix faible) est l'exemple de l'offre et de la demande du pétrole au Canada prévues en 1976. Bien que les valeurs numériques de ces prévisions aient été soumises à de fortes variations, les implications de ces scénarios annonçaient toutes d'importantes pénuries à venir.

En figure 3 le Programme national de l'énergie (1980) présentait la répartition actuelle estimative de la consommation énergétique entre les

différentes ressources disponibles, ainsi qu'une matrice énergétique cible pour les années 1990 et 2000. Les valeurs cibles nécessitaient une expansion immédiate de l'utilisation du gaz naturel et à plus long terme, une expansion encore plus importante de l'utilisation de l'électricité.

Les figures 4 et 5 indiquaient la disponibilité des principales ressources énergétiques disponibles pour l'accroissement prévu de la dépendance canadienne vis-à-vis de l'électricité. Les augmentations devaient provenir des ressources hydroélectriques renouvelables ou de la production nucléaire non épuisable, selon les disponibilités régionales de la première source.

Figure 6 donne la répartition de la consommation du pétrole par secteur. Certains secteurs se prêtaient plus que d'autres au remplacement du pétrole par le gaz naturel ou l'électricité. Étant donné son immensité, le secteur du transport offrait de plus grandes possibilités de remplacement, mais ce potentiel était contrebalancé par des difficultés techniques plus grandes et des exigences plus strictes en matière de combustible pour le transport.

Figure 7 indiquait les besoins actuels et prévus du Canada en hydrogène. En raison principalement l'important besoin de carburant pour le transport, on a prévu une importante augmentation de la demande en hydrogène, principalement pour satisfaire les besoins du raffinage du pétrole et de la production de combustible synthétique, en plus de la croissance des utilisations non énergétiques. Si l'on s'en réfère aux figures précédentes, le Canada était chanceux d'avoir le choix entre l'électricité et le gaz naturel comme principale ressource énergétique pour la production de l'hydrogène.

En résumé, le Canada est considéré comme un pays énergétiquement riche dont les problèmes se situent au niveau du type, et non de la quantité d'énergie. Le remplacement du pétrole dans le secteur du transport est reconnu comme étant le plus difficile et la stratégie à court terme consiste donc à remplacer le pétrole dans d'autres domaines si possible et à conserver les ressources pétrolières disponibles pour le transport.

Il faut également considérer la situation canadienne dans le contexte du problème mondial de l'énergie. Des nombreux articles portant sur l'énergie à l'échelle mondiale, nous ne mentionnerons que : "A Global and Long Range Picture of Energy Developments" par W. Hafele (18), qui indique clairement l'interdépendance globale et les longs délais nécessaires pour s'ajuster aux nouvelles sources énergétiques. Cet article faisait également remarquer l'accroissement des problèmes environnementaux et des problèmes géopolitiques possibles associés à la répartition de ces ressources dans le monde. En ce qui a trait au cadre plus limité des activités de chaque pays en matière d'hydrogène, les figures 8 et 9 présentent les résumés

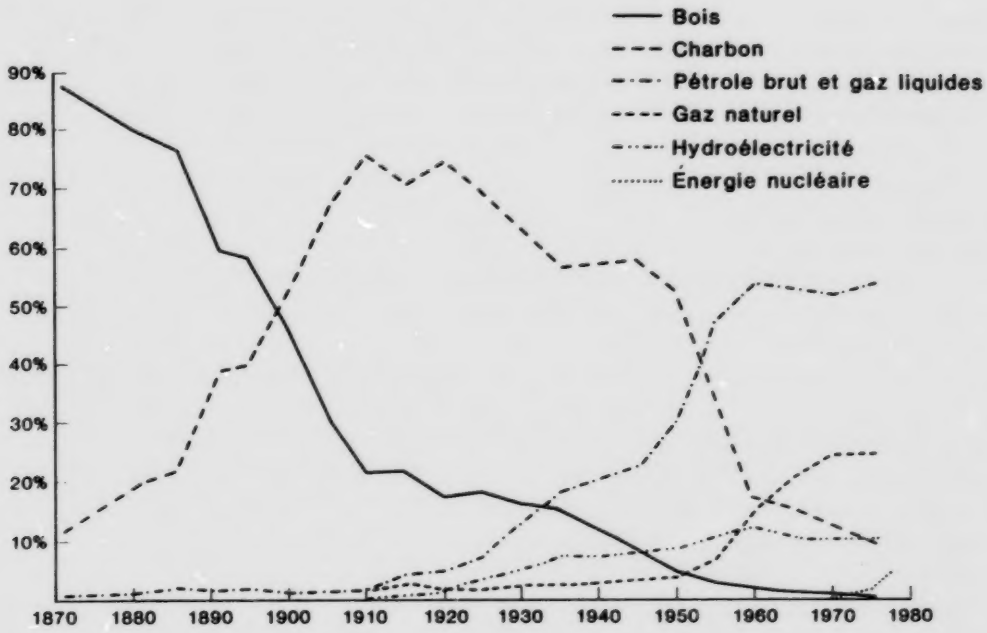


Figure 1. Répartition des principales sources d'énergie au Canada depuis 1971 (d'après une figure de F.R. Steward parue dans "Energy Consumption in Canada Since Confederation," 6(3): September 1978 (20)).

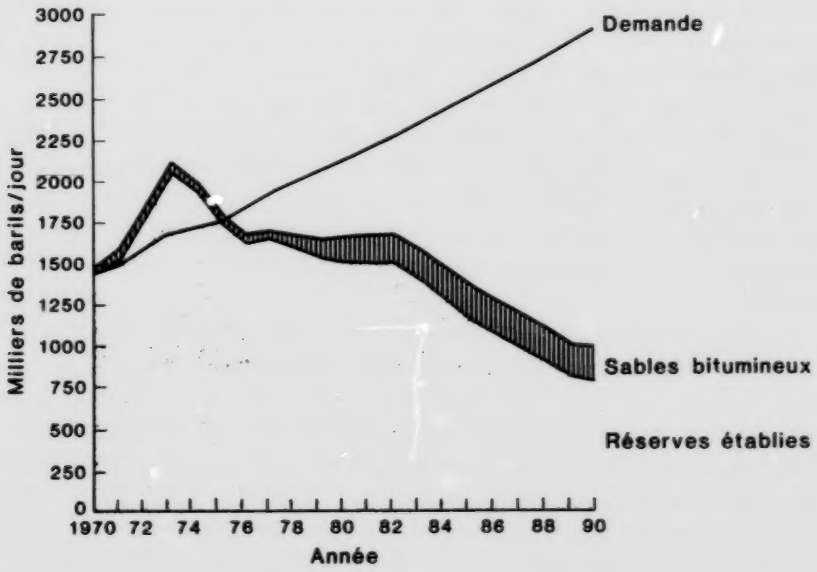


Figure 2. Offre et demande canadiennes : pétrole (1970-1971; scénario de prix faible) (d'après une figure parue dans "An Energy Strategy for Canada - Summary," Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa (Ont.), 1976 (21)).

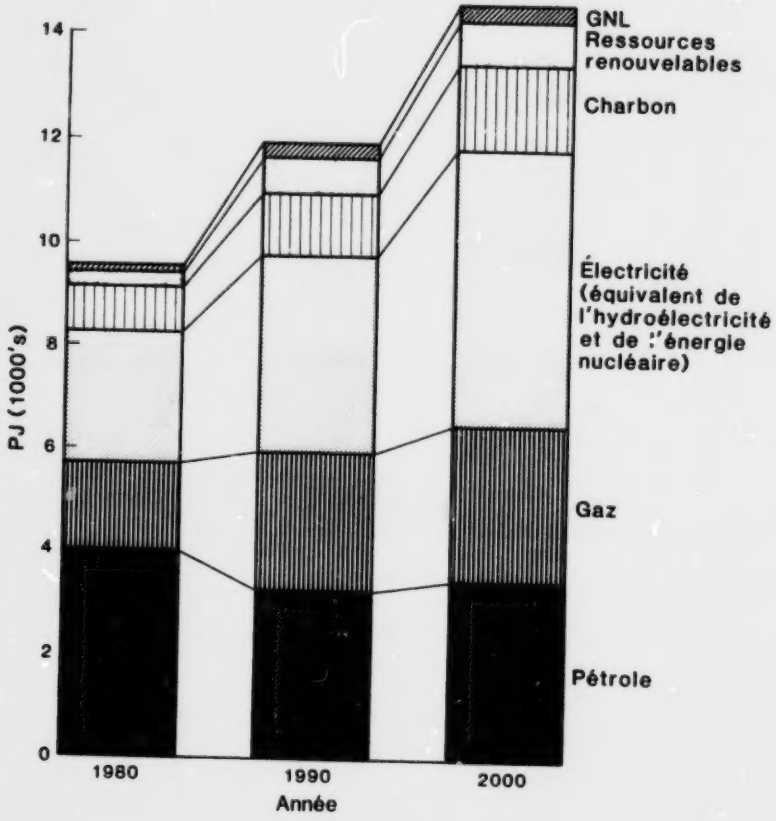


Figure 3. Pourcentages des ressources énergétiques (d'après une figure parue dans "Programme national de l'energie," Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa (Ont.), 1980 (2)).

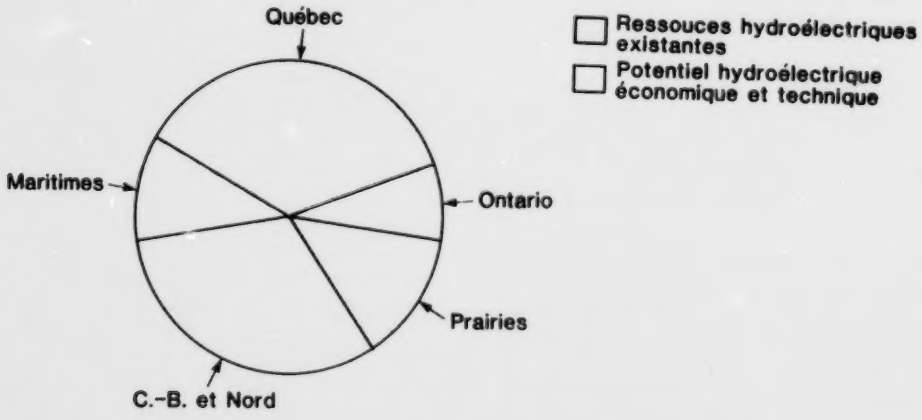


Figure 4. Base de ressources et potentiel hydroélectrique (d'après une figure parue dans "L'énergie au Canada : offre et demande, 1980-2000," Office nationale de l'énergie, Ottawa (Ont.), 1981 (22)).

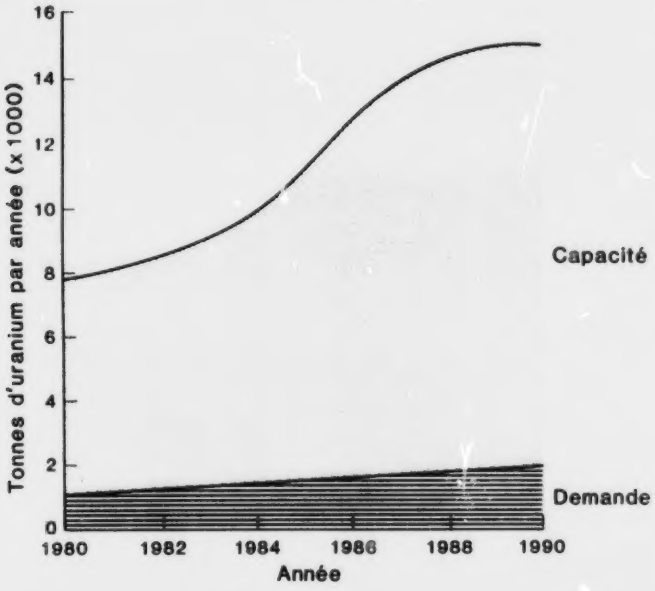


Figure 5. Base de ressources en énergie nucléaire (d'après une figure parue dans "L'uranium au Canada : évaluation de l'offre et des besoins en 1979," Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa (Ont.), 1980 (23)).

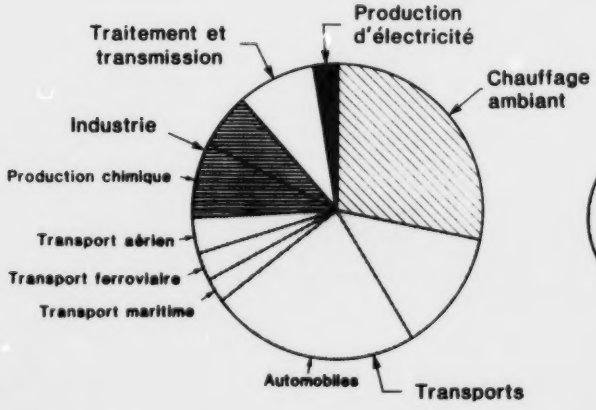


Figure 6. Consommation du pétrole au Canada par secteur (d'après une figure parue dans "L'énergie au Canada : offre et demande, 1980-2000," Office nationale de l'énergie, Ottawa (Ont.), 1981 (22)).

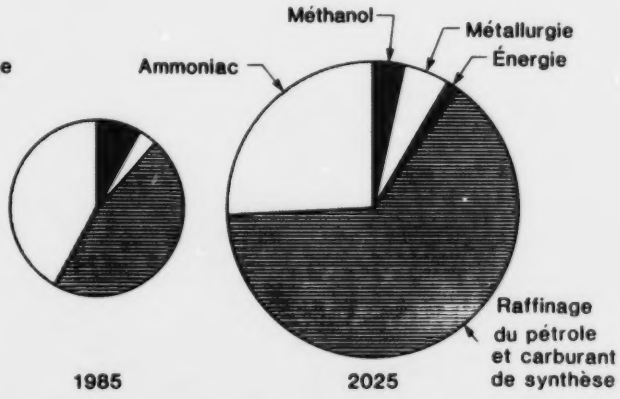


Figure 7. Besoins prévus de l'économie canadienne en hydrogène (d'après une figure de J.B. Taylor parue dans "Hydrogen Energy Prospects in Canada," Int. J. Hydrogen Energy, 1/2: 1984 (24)).

graphiques d'une activité de l'AIE (19). Ces figures indiquent les modalités de la production actuelle et future d'hydrogène, ainsi que les secteurs de demande de l'hydrogène. Un point intéressant particulièrement

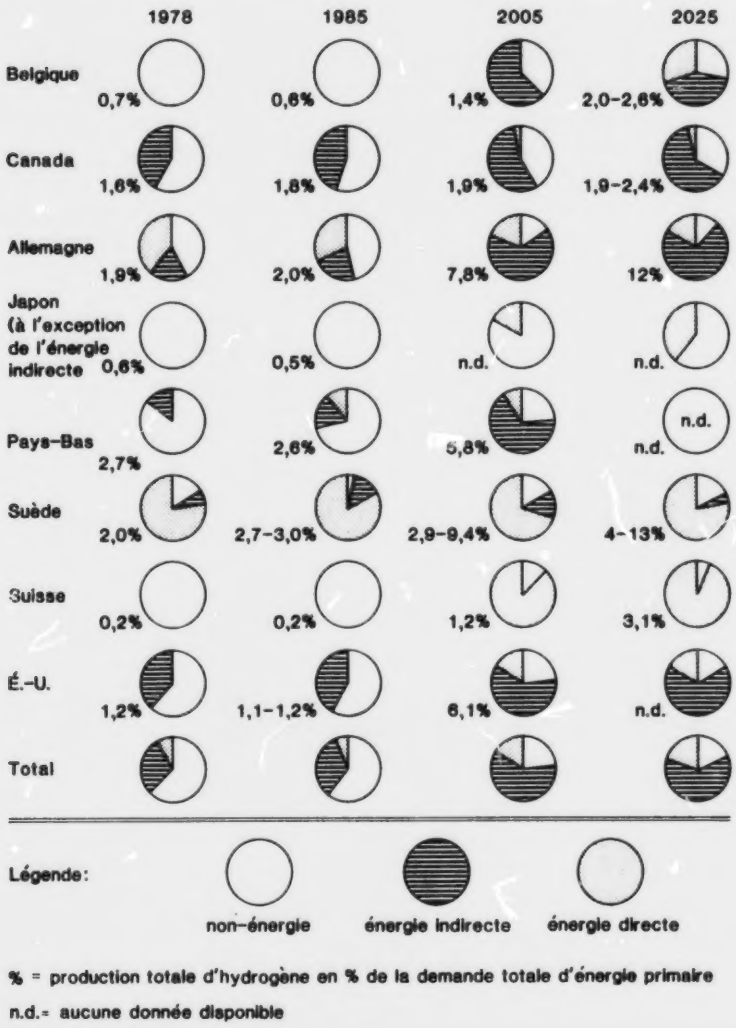


Figure 8. Augmentation de la part des secteurs de la demande d'hydrogène. (d'après une figure parue dans "Assessment of Potential Future Markets for the Production of Hydrogen from Water - Consolidated Final Report," Programme AIE de recherche et de développement sur la production de l'hydrogène à partir de l'eau, Tâche III, 1980 (19)).

le Canada était l'établissement d'une comparaison avec les États-Unis, où l'on a tendance à produire de l'hydrogène à partir de mazout et de charbon résiduaire comme principale ressource énergétique, alors qu'au Canada, on a recours à l'électrolyse. Ces tendances divergentes devraient avoir certaines répercussions, principalement en ce qui a trait au choix des techniques d'utilisation appropriées.

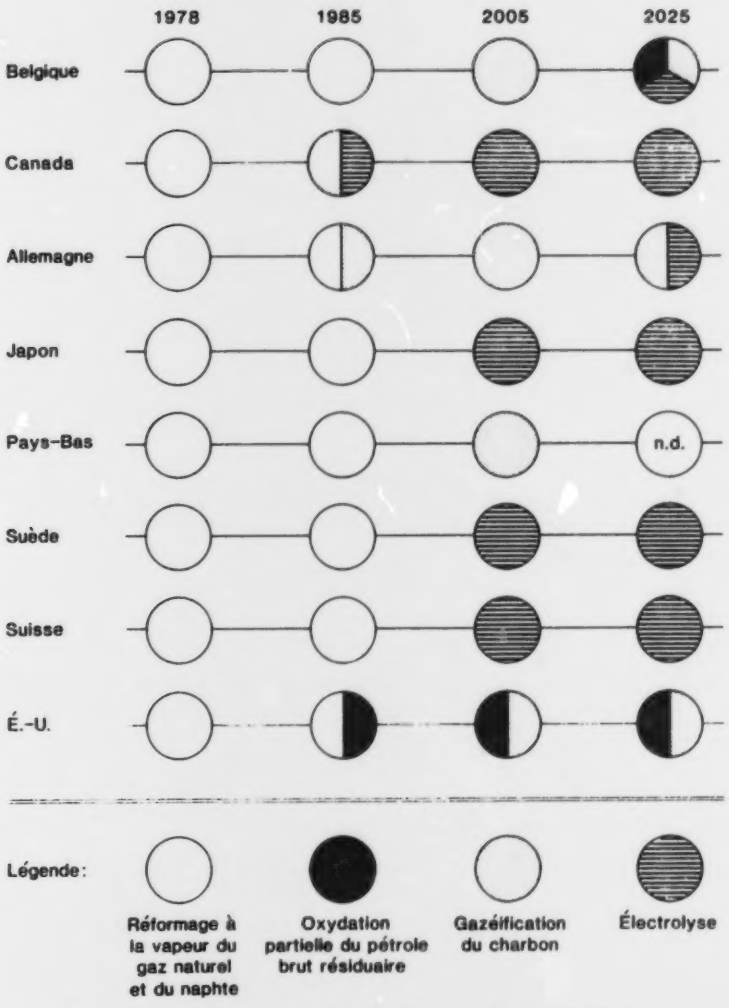


Figure 9. Tendances nationales dans la production future d'hydrogène (d'après une figure parue dans "Assessment of Potential Future Markets for the Production of Hydrogen from Water - Consolidated Final Report," Programme AIE de recherche et de développement sur la production de l'hydrogène à partir de l'eau, Tâche III, 1980 (19)).

Base des ressources intellectuelles

La principale discipline scientifique la plus pertinente au Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie est l'électrochimie, et particulièrement le sous-groupe des applications énergétiques comme les électrolyseurs, les piles à combustible et les accumulateurs secondaires.

Bélanger (25) avait résumé les activités canadiennes juste avant le début de ce programme. La seule activité fédérale importante dans ce domaine était celle d'un groupe dirigé par Casey de la Défense nationale, au Centre de recherches pour la défense à Ottawa (26). Une grande partie des ressources intellectuelles et des recherches limitées étaient dispersées dans les nombreuses universités où elles étaient suivies par le biais des subventions stratégiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. Une liste des universités qui participaient étroitement au programme se trouve dans la liste des principaux participants de l'Annexe D. Une reconnaissance des lacunes dans cet important domaine de l'activité canadienne a entraîné, en 1981, une étude en vue de l'établissement d'un Centre des techniques électrochimiques (27). Les recommandations de ce rapport ainsi que les conclusions du groupe de travail du gouvernement de l'Ontario (28) ont conduit à l'établissement de l'Institute for Hydrogen Systems (Toronto). Cet institut a été mis sur pied avec la coopération de l'université de Toronto et du gouvernement de l'Ontario (ministère de l'Énergie) en prévision d'un important financement fédéral. Malgré son incorporation dès 1983, cet institut n'a pas eu le temps de jouer un rôle significatif dans le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

Base des ressources industrielles

Le rapport final du "Electrochemical Energy Storage Research Plan" a été terminé en avril 1978 (28). Ses objectifs étaient d'abord d'évaluer les capacités canadiennes, puis d'identifier les problèmes de financement et d'exécution administrative des travaux, ainsi que dans l'application des résultats, et finalement, de recommander un plan répondant aux besoins canadiens en matière de recherche et de développement pour les 15 prochaines années.

Les intrants ont été fournis par une multitude d'industries manufacturières, de fournisseurs de matières premières, d'utilisateurs possibles de produits manufacturés, par les organismes scientifiques et par le Department of Energy qui a exprimé le point de vue américain. Ces études ont permis de voir que l'industrie canadienne ne faisait que très peu de travaux de recherches et de développement, principalement parce qu'elle avait accès aux possibilités étrangères mises à sa disposition grâce à ses affiliations internationales. La nature très concurrentielle de cette industrie a encouragé le développement indépendant et entravé les échanges de technologie. L'utilisation de subventions gouvernementales ne s'est pas avérée une pratique attrayante pour l'industrie étant donné que celle-ci considère que les subventions gouvernementales mettent en danger la propriété et le secret industriel des produits, et aussi en raison des incertitudes reliées aux engagements à court terme du financement gouvernemental. Ce qu'il

fallait en premier lieu c'était de coordonner les ressources individuelles de façon à obtenir une équipe de travail oeuvrant efficacement vers un but donné. La méthode utilisée pour atteindre ce but était très vague. Les principales ressources industrielles pour la production d'hydrogène ont une solide base chez The Electrolyser Corporation Limited. Voici un extrait de leur brochure :

> The Electrolyser Corporation Limited est une compagnie canadienne bien connue sur les marchés internationaux comme fabricant d'usines de production électrolytique d'hydrogène parce qu'elle a fourni quelque 25 % des installations de ce genre dans le monde. La TECL a mis sur pied près de 600 usines d'hydrogène en opération dans plus de 80 pays sur tous les continents, dont un grand nombre depuis plus de 20 ans.

En 1980, Electrolyser Inc., une compagnie associée à The Electrolyser Corporation Limited et aux mines Noranda Limitée, a été mise sur pied pour fabriquer d'importantes usines industrielles d'hydrogène électrolytique pour le marché mondial. Les usines devaient être basées sur la technique unipolaire de la cellule Stuart de The Electrolyser Corporation, modifiée au cours d'un programme de développement conjoint.

Jusqu'à tout récemment, les autres éléments de la base des ressources industrielles pour la production d'hydrogène existaient sous forme d'industries, de compagnies de services, d'instituts de recherche et d'universités indépendantes et dispersées présentant une vaste gamme de besoins et d'intérêts reliés à l'hydrogène. Elles ont été regroupées par le Conseil de l'industrie de l'hydrogène, créé en janvier 1982. Les objectifs du Conseil sont les suivants :

> Le Conseil de l'industrie de l'hydrogène doit promouvoir le développement de techniques à l'hydrogène et leur utilisation dans l'industrie et les applications de la consommation le bien-être de l'industrie canadienne et des Canadiens en général.
>
> En tant qu'organisation industrielle, le Conseil doit chercher à atteindre ces objectifs en promouvant le développement d'une industrie axée sur l'hydrogène et la participation du Canada aux entreprises internationales travaillant à perfectionner la technologie de l'hydrogène.
>
> Le Conseil de l'industrie de l'hydrogène a trois principaux objectifs :
>
> **Premièrement, promouvoir la recherche et le développement dans les domaines de la production, du stockage, du transport et de l'utilisation de l'hydrogène.**
>
> Le Conseil oriente ses programmes de façon à maximiser les retombées pour l'économie nationale et les structures de façon à éviter les duplications de travaux par une intégration maximale des efforts de l'industrie.

Deuxièmement, représenter l'industrie reliée à l'hydrogène.

Dans le cadre de cet objectif, le Conseil assure un rôle

- de représentant auprès des gouvernements pour les aviser en matière de recherche et de développement de la technologie de l'hydrogène;

- de centre d'échange d'informations entre les membres et avec la communauté internationale;

- de représentant auprès des organismes de recherche et des associations nationales et internationales appropriées;

- de source d'information pour le public en général.

Le Conseil collabore avec ses membres pour établir les politiques et les stratégies relatives à l'hydrogène et veiller à ce que les membres obtiennent les ressources adéquates pour leurs projets de recherche industrielle.

Enfin, rechercher et promouvoir des projets d'utilisation de l'hydrogène.

Le but ultime du Conseil est d'augmenter et d'élargir l'utilisation industrielle de l'hydrogène au pays et de promouvoir l'exportation des produits, des services et de la technologie connexes.

3. ORGANISATION DU PROGRAMME

Le programme était subventionné par le Comité (interministériel) de la recherche et du développement énergétiques coordonné par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. L'administration technique relevait du Conseil national de recherches du Canada et était assurée conjointement par les Divisions de l'énergie et de chimie. L'organigramme ci-joint donne les éléments-clés de la structure administrative (fig. 10).

Il y avait deux niveaux d'autorité interministérielle officielle. Au niveau de l'exécution et de la planification, il y avait le Comité de l'hydrogène et du stockage de l'énergie qui établissait les priorités et les nouvelles orientations techniques. L'autorité suprême en ce qui a trait au financement et aux grandes politiques et orientations revenait à un comité interministériel principal appelé le Comité la de recherche et du développement énergétiques (CRDE).

Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était l'un des nombreux sous-éléments du Programme de recherche et de développement énergétiques; il était appelé programme 5.6. Chacun des autres sous-éléments du Programme de recherche et de développement énergétiques relevait de ministères particuliers. D'importants services de liaison fonctionnaient entre les ministères qui avaient des activités en commun. Comme il y avait un grand nombre d'autres voies de financement de la R et D au Canada, ce ne

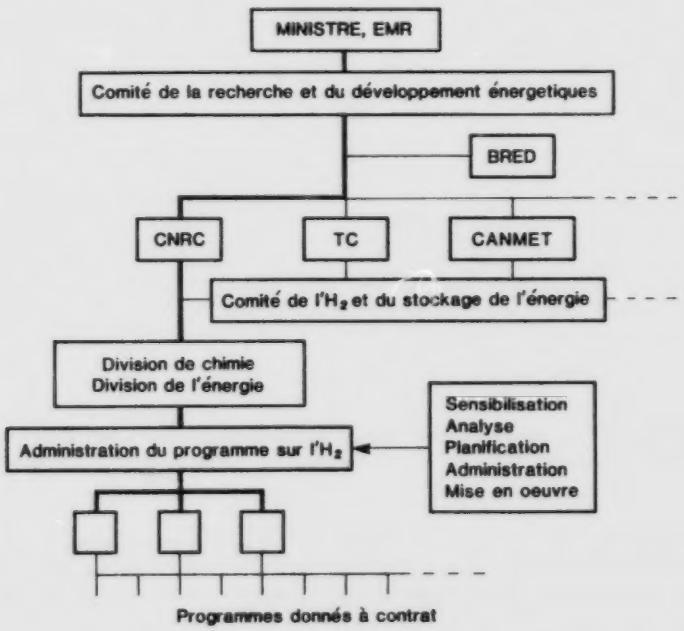


Figure 10. Organigramme du programme.

sont pas tous les travaux pertinents qui étaient sous le contrôle du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Il a donc fallu beaucoup de consultations entre les organismes de financement afin d'éviter autant que possible la fragmentation des efforts, la duplication ou les conflits. Ces échanges ont été réalisés principalement à titre de coopération non officielle.

À noter aussi que le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était essentiellement une activité dirigée et non un organisme d'information pour les clients ou de subventionnement pour ces activités. L'orientation du programme n'était évidemment pas établie de manière arbitraire, mais à partir d'un processus continu de consultation établi entre les ministères fédéraux et des organismes extérieurs. À cette fin, le programme était appuyé sur le Comité associé sur les systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et les systèmes à hydrogène, dont l'Annexe A donne la liste de membres.

L'origine et le mandat de ce comité sont les suivants :

> Le Canada dépend fortement du pétrole en tant que système énergétique. Inévitablement, d'autres sources énergétiques doivent le remplacer, et il faut donc trouver des moyens de distribuer et de stocker cette énergie. Le Conseil national de recherches du Canada s'est vu attribuer la responsabilité du Programme des systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et des systèmes à hydrogène par le Comité interministériel de la recherche et du développement énergétiques du gouvernement fédéral. En août 1978, le Comité associé a été mis sur pied pour conseiller le CNRC sur ce programme.
>
> Mandat
>
> 1. Conseiller le CNRC et d'autres organismes, à la demande du Conseil, sur la planification des besoins techniques, l'ordre des priorités, et la mise en oeuvre du programme national de R et D sur les systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et les systèmes à hydrogène.
>
> 2. Conseiller le CNRC sur l'à-propos de la collaboration avec d'autres pays en ce qui a trait aux programmes de conversion et de stockage de l'énergie.
>
> 3. Sur demande, conseiller le CNRC sur d'autres questions précises portant sur le programme de conversion et de stockage de l'énergie, et sur les systèmes à hydrogène.

Les nouvelles activités prévues dans le cadre du programme étaient annoncées régulièrement dans le bulletin de R et D d'Approvisionnements et Services Canada (30). Des listes de soumissionnaires étaient dressées et constamment mises à jour. Des demandes de propositions étaient émises par le ministère des Approvisionnements et Services et ensuite évaluées par une équipe composée d'experts dans le domaine.

Le programme relevait directement des administrateurs de programme et on insistait sur la préparation régulière des comptes rendus techniques et des rapports détaillés. On peut se procurer certains de ces rapports par le biais des services de prêts de la Bibliothèque scientifique nationale (ICIST). Sur le plan commercial, le caractère confidentiel de certaines activités interdit la diffusion générale de certains rapports. Toutefois, un rapport condensé était publié chaque année dans les deux langues officielles par le Conseil national de recherches, et on peut se le procurer sur demande (31, 32).

Dans le contexte des autres activités énergétiques du gouvernement fédéral, ce programme est décrit davantage dans le "1983 Guide to Research and Development Activities Resulting from the National Energy Program of the Government of Canada" (33).

4. OBJECTIFS DU PROGRAMME

Lorsque l'activité était à son maximum, juste avant novembre 1984, le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie était subdivisé en quatre sous-programmes (ci-dessous, accompagnés de leurs objectifs respectifs).

Production d'hydrogène

Assurer que le Canada possède la capacité technique de produire l'hydrogène au plus bas coût possible à partir de ses propres ressources.

Objectifs particuliers :

- Mettre au point les matériaux, les composantes et les techniques nécessaires pour des électrolyseurs perfectionnés.

- Se tenir au courant des tendances mondiales en ce qui a trait aux diverses méthodes de production d'hydrogène.

- Soutenir les travaux de développement industriel pour profiter des résultats de la recherche.

Utilisation de l'hydrogène

Évaluer et élaborer des techniques reliées à l'utilisation efficace de l'hydrogène comme vecteur énergétique au Canada.

Objectifs particuliers :

- Évaluer et élaborer des méthodes appropriées de stockage et de distribution de l'hydrogène.

- Mettre au point une base de données et développer une capacité technique pour l'utilisation finale de l'hydrogène et la conversion de l'énergie, y compris des moteurs thermiques et les piles à combustible.

- Étudier, analyser, élaborer et propager l'information permettant l'utilisation sécuritaire de l'hydrogène.

Stockage de l'énergie

Identifier et mettre au point des techniques économiques et pratiques de stockage de l'énergie à appliquer pour remplacer les systèmes existants basés sur les combustibles à base d'hydrocarbures par de nouvelles sources d'énergie inépuisables.

Objectifs particuliers :

- Évaluer et mettre au point des piles et accumulateurs électriques appropriés aux besoins canadiens pour des applications mobiles et stationnaires.

- Mettre au point des volants d'inertie pour les composantes à haute densité énergétique des unités motrices de véhicules hybrides.

- Évaluer et mettre au point des systèmes et des éléments de véhicules électriques qui répondent aux besoins des Canadiens.

- Mettre au point une forme de stockage thermique pour les applications résidentielles et industrielles. (Le Programme de l'énergie solaire a été chargé du développement de techniques de stockage à faible température appropriées aux applications solaires.)

Recherche en électrochimie

Établir et assurer le fonctionnement d'un institut de façon destiné à mettre au point et à coordonner des techniques d'électrochimie appliquées dans le domaine de l'énergie.

Ce sous-programme est extrait de recommandations du Comité associé des systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et des systèmes à hydrogène, 31 mars 1981, qui se lisent comme suit :

> Un Centre de technologie électrochimique doit être établi immédiatement.
>
> Les activités de ce Centre comprennent la recherche et le développement d'électrolyseurs perfectionnés pour la production d'hydrogène, de piles à combustible, d'accumulateurs de stockage, de procédés électrométallurgiques, et de tous les procédés électrochimiques actuellement reconnus non encore réalisés, qui pourraient contribuer à la matrice énergétique du Canada.
>
> Nous recommandons que ce Centre prenne la forme d'une corporation indépendante, par exemple une société d'état ou une filiale d'une société d'état existante.
>
> Cette corporation doit être créée par le gouvernement fédéral et financée à même les fonds publics.
>
> En ce qui a trait à sa responsabilité dans le cadre du Programme fédéral des systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et des systèmes à hydrogène, le Conseil national de recherches doit rester engagé sur une base directe et continuelle dans les programmes et la direction de cette corporation.

De plus, le Comité a ajouté :

> **Dans le cas où certaines ouvertures empiéteraient directement sur ces recommandations et sur les travaux de recherche et de développement énergétiques en électrochimie, la réaction du gouvernement fédéral devrait être positive. Au cours de négociations subséquentes, le Conseil national de recherches doit mettre l'accent non seulement sur une importante présence fédérale dans la direction et la gestion du programme, mais il doit également s'opposer à tout mandat qui pourrait fragmenter le programme national en matière de recherche électrochimique.**

Un grand nombre de ces objectifs n'étaient pas réalisables immédiatement pour une raison ou une autre. L'Institut d'électrochimie nécessitait par exemple l'engagement de capitaux et d'années-personnes. D'autres sous-programmes comme ceux portant sur les accumulateurs perfectionnés et les véhicules électriques étaient axés sur des composants et leur succès ultime dépendait de l'assimilation de techniques nouvelles provenant d'ailleurs. Et surtout, le financement du programme était tout simplement trop faible, et le mandat de recherche et de développement trop restreint pour pouvoir commercialiser complètement ces techniques. Cela aurait nécessité des investissements du secteur privé. Cette façon de procéder a donné de bons résultats dans certains accords à coûts partagés. Dans d'autres travaux comme la poursuite des recherches sur les chaudières électriques à stockage de chaleur pour le chauffage ambiant, l'industrie ne trouvait aucun avantage économique l'incitant à aller de l'avant étant donné que l'acceptation de ces nouvelles techniques dépendait d'une réglementation gouvernementale créant des tarifs électriques variables selon l'heure du jour. Les compagnies n'ont reçu aucune assurance des producteurs d'électricité garantissant que l'on introduisait prochainement ce genre d'incitants pour réduire les charges de pointe.

À mesure que le programme progressait, il devenait de plus en plus clair qu'il faudrait une intervention du gouvernement pour commercialiser un grand nombre des techniques nouvelles, étant donné que le marché de l'énergie est déjà contrôlé, comme c'est le cas pour les subventions versées aux communautés du Nord pour l'achat de combustible diésel, ainsi que la taxation négative et d'autres programmes d'encouragement visant des objectifs particuliers. On a donc considéré que ce programme donnait aux gouvernements et aux organismes de réglementation un rôle important en ce qui a trait au statut technologique, à la rentabilité, aux coûts, aux caractéristiques de rendement, etc.

5. STRATÉGIE

L'élaboration d'un plan de programme comporte toujours certaines contraintes. Il faut donc identifier les ressources disponibles pour mener le plan à bien et quantifier ou définir d'une certaine façon leur importance. Les principales ressources nécessaires pour exécuter un programme de recherche et développement de façon à atteindre les objectifs susmentionnés sont de deux ordres : financières et intellectuelles. En général, la possibilité d'accélérer le développement des ressources intellectuelles ne dépend pas du financement disponible. Cela s'avérait généralement vrai au moment où le travail a été entrepris dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Au début du programme, les capacités intellectuelles existantes n'étaient pas aussi avancées qu'on l'aurait voulu. Les planificateurs du programme ont donc été obligés de définir une ligne de conduite propre à optimiser l'utilisation du financement alloué, à maximiser l'utilisation de toutes les ressources, à offrir certains bénéfices tangibles vers le milieu du programme et à contribuer à une certaine évolution des compétences de façon à entraîner des retrombées permanentes à long terme sur bien des fronts.

Voici les diverses options envisagées :

(i) Fusionner les compétences existantes et les orienter de façon à s'attaquer aux problèmes nouvellement définis.

(ii) Mettre au point de nouvelles compétences considérées comme étant nécessaires pour solutionner les problèmes actuels et futurs.

(iii) Puiser dans les techniques étrangères et les capacités existantes à l'extérieur du Canada.

(iv) Identifier les techniques pivots et concentrer le plus de ressources possibles sur les approches concertées.

(v) Faire participer l'industrie et tous les paliers de gouvernement à l'identification des objectifs communs et à la mise en commun des ressources.

En fait, la stratégie adoptée visait à utiliser toutes ces options. Des canaux de communications officielles ont été élaborés avec tous les secteurs. Le programme n'a cependant jamais eu une fonction de subvention étant donné que cette activité était accomplie ailleurs, à l'intérieur du CNRC et dans d'autres organismes. Malgré cela, la direction du programme a évité l'approche qui encourage les techniques couronnées de succès au

détriment de celles qui ne le sont pas. On a recherché et obtenu le consensus. La formation de groupes d'industries comme le Conseil de l'industrie de l'hydrogène était logique et c'est pourquoi elle a été encouragée.

Par contre, la communication avec la communauté scientifique est un procédé très bien établi comprenant la publication de documents dans la littérature générale et la tenue de conférences et de colloques. On a continué à utiliser tous ces moyens de communication. La nature interdisciplinaire des domaines couverts par ce programme représentait un défi important. De nombreux journaux scientifiques et de nombreuses réunions techniques sont très spécialisés, de sorte qu'il a fallu trouver de nouveaux points d'échange. La 5^{e} Conférence mondiale sur l'énergie hydrogène à Toronto en 1984 a été un événement interdisciplinaire qui a remporté un vif succès et qui a attiré une participation mondiale. Elle a procuré bien des avantages au programme et au Canada.

L'un des principaux thèmes du programme était les engagements internationaux pris dans le cadre de l'Accord de l'hydrogène de l'AEI. Les efforts et les engagements pris dans le cadre de cet accord ont apporté des avantages considérables au Canada. Les réunions, les ateliers et les échanges techniques ont profité au développement de nos ressources intellectuelles d'une façon qui n'aurait tout simplement pas pu être reproduite par tout autre procédé. De plus, le Canada a pris connaissance des nouvelles techniques tout en jouissant d'une vitrine où exposer ses propres progrès techniques, souvent plus modestes.

Bien que l'on ait décrié cette façon de procéder, à plusieurs reprises l'administration du programme a cru qu'il était profitable d'identifier et d'aborder des techniques clés, comme ce fut le cas avec les piles et les accumulateurs Li/FeS. Ce système à température élevée utilise un électrolyte de sel fondu et est étudié dans plusieurs pays depuis de nombreuses années, en fait depuis si longtemps qu'aucun des brevets originaux n'est aujourd'hui valide. Des travaux récents faits aux États-Unis ont porté ce projet à un point très près de la viabilité commerciale dans tous les domaines, sauf le coût, étant donné que ce type de pile et d'accumulateur donnait les meilleurs résultats avec un séparateur à base de nitrure de bore qui était fourni à un prix très élevé par un seul fabricant américain. Reconnaissant la nature spéciale de cette technique, le CNRC s'est efforcé d'assimiler la technique de piles et d'accumulateurs américains tout en s'organisant pour mettre au point un nouveau procédé de fabrication très bon marché du séparateur à base de nitrure de bore. La manoeuvre a réussi et elle a permis de placer un fabricant canadien au premier rang de la technique mondiale en matière de piles et d'accumulateurs perfectionnés.

On doit toujours observer une certaine prudence lorsqu'on formule une stratégie, et pourtant cette règle a été ignorée maintes fois par les rédacteurs de comptes rendus et d'analyses, et par les experts-conseils. Cette règle traite de l'application stricte des critères économiques lors de la définition des priorités d'un projet. En général, ces données économiques ne sont pas fiables lorsqu'il s'agit de nouvelles techniques. Malheureusement il faut généralement avoir une grande compétence pour déceler les failles des arguments présentés. À ce sujet, ce n'est que très rarement que des critères économiques ont été utilisés dans les divers choix de programme. La phase initiale de recherche était principalement basée sur la preuve du concept technique, les aspects économiques étant relativement peu importants à cette étape. Lorsqu'un projet survivait aux étapes ultérieures de développement, c'est alors que les considérations économiques jouaient un rôle de plus en plus important et que la recherche scientifique était de plus en plus axée sur la réduction des coûts par le remplacement des matériaux et les procédés coûteux par des matériaux et des procédés moins coûteux. L'échéancier était très variable. Les activités menées dans le cadre du Programme sur l'hydrogène et le stockage de l'énergie ont atteint diverses étapes de développement étant donné qu'elles n'ont pas toutes débuté au même moment et qu'elles n'étaient pas toutes au même stade de développement au moment de les entreprendre. L'activité la plus avancée était celle qui appuyait la technologie perfectionnée de production d'hydrogène électrolytique, qui avait fait l'objet de beaucoup d'attention avant que le présent programme ne soit entrepris et qui avait par conséquent les perspectives économiques les plus clairement définies. L'acceptation de cette technique par une entreprise commerciale de Bécancour, Québec, montre bien qu'on peut dire que dans certaines circonstances, cette technique de production d'hydrogène peut concurrencer des méthodes plus classiques. Dans tous les secteurs de ce programme, on peut trouver des exemples d'exagérations des coûts prévus, selon les intérêts des auteurs. Ce programme fédéral avait comme objectif de conserver une évaluation la moins biaisée possible de ces coûts. C'est justement pour pouvoir offrir des données fiables et significatives sur les coûts que les travaux ont été entrepris dans bien des cas.

Comme il a déjà été mentionné à la section 2, où il est question des paramètres de départ, la portée du programme a été réduite en ne considérant que le remplacement du pétrole par l'électricité. Cette stratégie était basée sur la reconnaissance du fait qu'il existe de nombreuses possibilités d'étendre la base des ressources électriques. Il ne fait aucun doute que de nombreuses formes nouvelles d'énergie seront bientôt commercialisées sous forme d'électricité. Notre stratégie consistait donc à rendre compatibles l'électricité et les futurs marchés énergétiques qui sont surtout desservis par le pétrole pour l'instant.

6. CONTENU DU PROGRAMME

Le présent chapitre présente une brève description de la portée technique du programme ainsi que du fondement des décisions relatives aux divers points forts du programme et aux limites de ce dernier. Les rapports d'étape du Programme fédéral de l'hydrogène et du stockage de l'énergie de 1982 à 1985 (31, 32) donnent plus de détails sur les diverses activités.

Production d'hydrogène

Hydrolyse de l'eau

L'hydrolyse de l'eau était considérée comme la méthode la plus rentable de production d'hydrogène au Canada étant donné qu'elle est complètement indépendante des principales ressources de combustibles fossiles. Ce choix était basé sur les vastes ressources énergétiques existantes et possibles, sous forme de capacité de production d'électricité hydraulique et nucléaire. Il a été reconnu que la première étape en vue de l'utilisation intensive de l'hydrogène était l'élaboration d'une technique de production efficace de grande envergure. La plus grande partie des ressources réservées au sous-programme de la production d'hydrogène ont donc été consacrées à la recherche et au développement de l'électrolyse de l'eau et de la vapeur d'eau. Les premiers travaux du programme de l'électrolyse de l'eau ont porté sur la technique canadienne existante, qui était déjà commercialisée à travers le monde. Un programme d'amélioration de cette technique financé par le ministère de l'Industrie et du Commerce avait déjà commencé en 1976. Il avait été reconnu que cette technique ne pourrait demeurer concurrentielle sur le marché mondial à moins d'améliorations significatives. Plus précisément, elle ne pourrait pas être compétitive avec les centrales multimégawatts prévues étant donné que l'équipement classique était trop petit et qu'il ne se prêtait pas à une augmentation directe d'échelle.

À la fin de ce programme du ministère de l'Industrie et du Commerce en 1983, une usine pilote de 0,6 MW comprenant trois cellules d'électrolyse de 100 000 Ah était en opération au Centre de recherche de l'Hydro-Québec (IREQ) à Varennes (Québec). Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie a continué d'appuyer ce programme canadien à frais partagés d'électrolyse unipolaire de l'eau. Sur une période de deux ans et demie, ces cellules ont été rénovées avec des éléments d'une conception nouvelle et de matériaux perfectionnés. Deux nouvelles cellules d'une capacité totale de 1,0 MW ont été installées. L'expérience acquise à partir de l'exploitation de cette centrale expérimentale a permis à la nouvelle compagnie, Électrolyseur Inc., d'élaborer une usine d'hydrogène électrolytique

de 7 MW pour le projet de Bécancour où de l'hydrogène électrolytique et de l'hydrogène sous-produit d'une usine de chlore et de soude seront utilisés pour la production d'hydrogène liquide commercial.

Avec l'aide d'Énergie atomique du Canada Ltée, des travaux de recherche et de développement portant sur un nouveau procédé de récupération économique de l'eau lourde, obtenue comme sous-produit du procédé d'électrolyse, ont été entrepris conjointement avec le programme susmentionné d'amélioration de la technologie existante des électrolyseurs. Cette activité était justifiée par une étude de marché prévoyant une augmentation des ventes d'électrolyseurs d'eau dans les pays dont le programme nucléaire était basé sur l'eau lourde. Électrolyseur Inc. détient les droits mondiaux de fabrication de ce procédé de récupération de l'eau lourde par échange catalytique et électrolyse combinés (ECED), dont la démonstration a été faite avec succès dans une usine pilote.

Une autre façon d'introduire l'hydrogène comme produit énergétique consistait en des unités de production disséminées compatibles avec les diverses sources d'approvisionnement en énergie renouvelable des régions éloignées. Une technique de production d'hydrogène appropriée adaptée à ce concept devait être tout à fait différente de la technique susmentionnée qui nécessite des systèmes relativement peu encombrants, autonomes, bon marché et demandant peu d'entretien. Le Système d'électrolyse de l'eau à alimentation fixe à l'étude pour des applications individuelles était considéré comme étant un concept prometteur pour un tel système. Cependant, des essais et une évaluation interne ont indiqué que le développement de ce concept n'était pas encore suffisamment avancé, que d'importantes réductions des coûts du système seraient nécessaires et on a donc conclu qu'il devrait être réétudié à une date ultérieure.

Des travaux de recherche et de développement sur les matériaux et les composants d'une importance spéciale pour les électrolyseurs perfectionnés de l'eau ont été entrepris parallèlement aux travaux de développement du système susmentionné. L'application prévue de ces travaux n'a pas nécessairement été limitée à la technique unipolaire canadienne. D'après des considérations fondamentales, on savait qu'une augmentation de la température de fonctionnement accroîtrait l'efficacité de l'élecrolyseur. Les températures de fonctionnement étaient limitées par la durabilité des matériaux dans le milieu très corrosif des cellules électrolytiques.

L'un des éléments clés pour l'amélioration était le séparateur ordinairement fait d'amiante de première qualité fonctionnant à une température maximale de 90°C. À une température supérieure, la détérioration chimique des matériaux se fait à une vitesse inacceptable pour un électrolyseur commercial dont la durée utile est d'environ 20 ans. On a essayé de plusieurs

façons de trouver un matériau de remplacement approprié pour l'amiante. On a réussi à diminuer la résistance électrique élevée des matières plastiques hydrophobes grâce à un traitement de surface les rendant hydrophiles. Dans tous les cas, cette condition n'était que temporaire, et c'est pourquoi les recherches dans ce domaine ont été arrêtées. De nouveaux séparateurs en matière plastique inerte dans des solutions fortement alcalines ont été préparés en modifiant les polymères existants; ces séparateurs ne pouvaient cependant concurrencer l'amiante en termes de coût ou de stabilité chimique. Une troisième façon consistait à préparer des séparateurs améliorés pour températures élevées à partir de monomères choisis dont les polymères devraient posséder les propriétés requises. Les polymères choisis, appelés ionomères aromatiques, avaient également l'avantage de pouvoir servir d'électrolytes de polymères solides. La caractérisation des propriétés mécaniques et électrochimiques a indiqué que ce matériau demeurait chimiquement stable jusqu'à 180°C sans détérioration significative. Ces ionomères aromatiques pouvaient être moulés avec de très minuscules trous, les rendant appropriés pour la production de séparateurs, ou sans aucun trou pour servir d'électrolyte de polymère solide. À la fin du programme, des feuilles de 20 cm × 30 cm avaient été coulées et des essais à long terme avaient été entrepris dans des conditions d'électrolyse de l'eau. Le projet a été transféré avec succès au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

Le deuxième élément important de l'électrolyseur à bénéficier d'améliorations étant les électrodes. L'efficacité de la réaction aux électrodes dépend principalement de l'électrocatalyse, principalement lorsqu'il faut des courants de forte densité. Dans le cas des électrocatalyseurs, on a étudié les réactions de libération d'hydrogène et d'oxygène. Les nouveaux matériaux mis au point pour cette première n'étaient pas de la qualité de ceux mis au point par le groupe Noranda, mais ils demeurent une solution de rechange. De nombreux matériaux de type perovskite et spinel ont été étudiés pour savoir s'ils convenaient à l'électrode à oxygène. Les composés préférés ont été liés sur des substrats métalliques et sont actuellement testés au Centre de recherche de Noranda et en Belgique dans le cadre du Programme de l'AIE sur l'hydrogène. Des essais à long terme devront être faits avant que ce matériau puisse être utilisé commercialement. Bien que les résultats préliminaires aient indiqué un rendement inférieur par rapport aux autres possibilités à faible température, l'activité diminuait à température élevée et semblait s'améliorer avec le temps.

Une technique d'implantation d'ions a été étudiée en vue de l'implantation contrôlée d'ions d'un catalyseur de type métal noble qui pourrait réduire la demande en métaux nobles. Les améliorations obtenues sont cependant insuffisantes pour justifier la continuation de ces expériences. Des travaux de base ont été entrepris avec des électrocatalyseurs à transfert

d'électrons multiples pour la production d'oxygène, mais ces travaux n'ont pas duré assez longtemps pour permettre d'en tirer des conclusions.

Photoproduction de l'hydrogène

La photoproduction de l'hydrogène signifie la production directe d'hydrogène à partir de l'absorption des rayons solaires dans l'eau, généralement à l'interface d'une électrode. Pendant toute la durée de ce programme, il y a eu des progrès considérables dans ce domaine partout dans le monde, mais tous ces progrès étaient des observations expérimentales en laboratoire et aucun prototype n'a été essayé. Le principal problème que représente l'énergie provenant de sources aussi dispersées est la nécessité de surfaces de captation extrêmement grandes, et le coût unitaire doit donc être très bas pour produire un système qui puisse concurrencer ceux qui tirent profit de mécanismes de concentration naturelle.

Étant donné que cette technique n'était pas considérée comme une option canadienne prioritaire, très peu d'activités ont été financées directement dans le cadre du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. On a cependant suivi les progrès et les activités dans ce domaine par le biais des travaux entrepris à EMR (CANMET). Des recherches internes y ont été faites sur des matériaux d'électrodes dans le cadre des activités canadiennes du groupe de travail IV de l'AIE et qui constituaient également un centre d'intérêt pour les activités menées dans les universités canadiennes, principalement financées par le biais de subventions stratégiques du CRSNG.

Production thermique d'hydrogène

La production thermique d'hydrogène signifie l'utilisation de l'énergie thermique pour produire de l'énergie à partir de l'eau. Ce procédé était considéré comme une solution de remplacement par l'hydrogène des combustibles fossiles dans les pays où l'électricité coûte trop cher pour produire de l'hydrogène par électrolyse. La chaleur requise pour le fractionnement thermique direct est très élevée mais elle peut être réduite, au prix d'une complexité accrue du procédé, par l'introduction de procédés thermochimiques multiples en cascade. On prévoyait que la principale source de chaleur pour ce procédé proviendrait de concentrateurs solaires ou de réacteurs nucléaires à température élevée. Étant donné qu'aucune de ces sources thermiques n'était disponible ou prévue au Canada, le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie n'a appuyé que les travaux d'information, de compte rendu et d'analyse des activités internationales dans ce domaine. Cet appui comprenait une étude superficielle des problèmes courants des systèmes qui donnaient les meilleurs résultats afin de rendre compte des activités internationales. On a estimé que le coût de l'hydrogène produit

par certains cycles de production thermochimiques pourrait concurrencer celui de l'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau, principalement lorsque l'électricité coûte cher et que l'on dispose des sources thermiques nécessaires.

Utilisation de l'hydrogène

Piles à combustible

Au début du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, plusieurs compagnies fabriquaient des piles à combustible aux États-Unis et s'occupaient d'autres activités semblables partout dans le monde, mais très peu d'activités avaient lieu au Canada. Même aujourd'hui, il n'y a pas encore d'unités de production pour des applications terrestres. Parti en retard et ne possédant que des ressources limitées dans ce domaine, le Canada ne disposait que d'options limitées de participation. Le premier objectif du programme canadien visait à obtenir une expérience pratique des techniques existantes afin de familiariser les utilisateurs possibles et d'acquérir des connaissances suffisantes pour reconnaître les besoins et les possibilités particulières au Canada. Un prototype de pile à combustible à l'acide phosphorique de 40 kW conçu pour des applications stationnaires a été acheté de l'United Technology International des États-Unis. Un programme d'essai a été élaboré en fonction de cette unité qui est considérée comme une solution possible pour remplacer la production électrique par moteur diésel dans les endroits éloignés et qui peut être utilisée en mode cogénération lorsque la chaleur excédentaire peut être utilisée. Le contrat a été accordé à la B.C. Hydro and Power Authority pour l'installation d'une unité de démonstration mobile et pour le projet initial d'essais sur place. Ce programme est relié à un programme américain effectué par le Gas Research Institute et cette collaboration permet au Canada d'avoir accès aux résultats provenant d'une quarantaine d'autres programmes d'essais. Le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie devait appuyer les essais canadiens d'autres piles à combustible comme les piles à hydrogène à électrolyte solide en céramique fonctionnant à température élevée et les piles à combustible alcalines européennes. Étant donné que les piles à combustible sont en réalité des électrolyseurs inversés, il n'est pas surprenant de voir qu'un grand nombre des matériaux mis au point pour servir de composants d'électrolyseur ont également des applications possibles dans les piles à combustible, comme c'est le cas dans des travaux internes de CANMET portant sur une pile à hydrogène à électrolyte en céramique et les travaux parrainés par le Centre de recherche pour la defense à Ottawa du Ministère de la Defense nationale sur une pile à combustible à électrolyte polymérique solide. Ces divers développements de matériaux ont été considérés comme des points d'entrée très promoteurs pour une activité canadienne en matière de piles à combustible et ils étaient encore plus intéressants du point de vue des retombées technologiques possibles.

Moteurs

Les moteurs thermiques offrent une méthode éprouvée de conversion de l'énergie stockée dans un combustible en énergie mécanique utile. Cependant, l'efficacité de tous les moteurs est limitée jusqu'à un certain point par les caractéristiques thermodynamiques fondamentales du cycle de fonctionnement correspondant à leur type (p. ex. les cycles Diesel, Otto et Rankine). Cela les rend à première vue moins intéressants que la combinaison piles à combustible/moteur électrique. Cependant, les moteurs ont atteint un stade de développement élevé et sont relativement bon marché, et des progrès importants récemment réalisés dans le concept moderne en matière de cylindrée ont permis d'accroître considérablement leur rendement. Ces facteurs alliés aux avantages possibles associés à la combustion d'un combustible non à base d'hydrocarbures comme l'hydrogène ont démontré qu'il ne faut pas négliger les moteurs comme dispositifs de conversion de l'énergie de l'avenir.

Des efforts considérables ont déjà été faits dans de plusieurs pays pour adapter les moteurs à essence existants à l'hydrogène pour fin de démonstration. Ces moteurs pouvaient s'accommoder de l'hydrogène mais n'en exploitaient pas les caractéristiques avantageuses. Plus récemment, au Canada comme ailleurs, des projets ont été entrepris afin de savoir comment un bon concept de moteur pourrait utiliser les aspects uniques de la combustion de l'hydrogène de façon à obtenir une conversion énergétique plus efficace. L'accent était placé sur l'injection directe, sur des chambres de combustion optimisées et un rapport de compression élevé pour obtenir une puissance plus élevée, un meilleur rendement et une réduction des émissions d'oxyde d'azote. Les activités canadiennes ont été entreprises dans des laboratoires universitaires et du CNRC dans le cadre d'un programme coordonné. Ces nouvelles approches étaient trop récentes pour qu'on en ait tiré des résultats techniques significatifs.

Un autre projet du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie a été conçu pour évaluer la façon dont des turbines à gaz pourraient être optimisées de façon à bénéficier des avantages que procurent les caractéristiques de l'hydrogène. Très peu de travaux avaient été faits dans ce domaine malgré le vif intérêt partout dans le monde pour les applications de cette technique aux avions à long rayon d'action. Une étude initiale avait identifié plusieurs avantages que présentait l'alimentation à l'hydrogène de ces turbines à gaz qui ont également des applications marines, ferroviaires et stationnaires.

Dans le cas de l'hydrogène, et particulièrement dans le cas des applications mobiles, le principal inconvénient provient de la difficulté de le stocker sous forme liquide, gazeuse ou d'hydrures métalliques. Une

solution de rechange attrayante était basée sur un vecteur liquide comme l'ammoniac ou le méthanol. Certains efforts ont donc été consacrés à l'évaluation de l'utilisation de vecteurs liquides pour le stockage de l'hydrogène et la conversion en énergie. Du point de vue de l'application aux moteurs, les deux principaux domaines d'intérêt étaient :

- la dissociation du méthanol à bord du véhicule

- la mise au point d'une technique expérimentale de moteur alimenté à l'ammoniac.

Outre la commodité d'un combustible liquide de densité énergétique élevée, l'utilisation de la chaleur des échappements du moteur pour dissocier le méthanol (en hydrogène et en monoxyde de carbone) avant la combustion dans le moteur était attrayante en raison de l'amélioration prévue de l'efficacité. Un travail initial fait à contrat a indiqué que ce concept valait la peine d'être approfondi. Le CNRC prévoyait combiner les connaissances de pointe américaines et canadiennes dans un programme soigneusement conçu afin de savoir si l'on pouvait obtenir ainsi des gains d'efficacité profitables dans la pratique. Ce programme de travail n'a pas été terminé et tous les avantages de ces travaux ont été perdus lorsque le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie a été supprimé.

Étant donné que l'ammoniac contient seulement de l'azote et de l'hydrogène, on peut en fabriquer de façon synthétique à partir de l'air et de l'eau. L'Armée américaine a reconnu son potentiel comme carburant de moteur (produit à partir de réacteurs nucléaires portatifs) dès le début des années 1960. D'après ce concept appelé "Energy Depot", l'Armée américaine a réussi à convertir plusieurs moteurs pour qu'ils fonctionnent efficacement avec de l'ammoniac. L'efficacité de ces moteurs était supérieure à celle des moteurs à carburant à base d'hydrocarbures, comme le prévoyait la théorie, mais aucune recherche n'a été faite afin d'optimiser ce type de moteur. Les travaux du CNRC avaient comme objectif d'établir comment un moteur diésel pouvait être modifié de façon à tirer profit des caractéristiques de l'ammoniac. Ces travaux ont démontré qu'on pouvait obtenir une puissance élevée, une meilleure efficacité qu'avec les hydrocarbures et des émissions moindres (y compris d'ammoniac résiduaire) sans avoir à ajouter des additifs pour améliorer la combustion, à condition de porter une attention particulière à la configuration de la chambre de combustion, à l'avance à l'allumage, ainsi qu'à l'énergie d'allumage.

Tous les travaux du CNRC sur les moteurs avaient pour objectif d'accroître la banque de données nécessaires en vue des futures décisions en matière de conversion à hydrogène, y compris celles reliées à des créneaux d'utilisation de l'hydrogène dans un avenir relativement proche. Par exemple, les

travaux sur l'ammoniac étaient associés aux applications prochaines possibles du stockage et de la conversion de l'énergie à partir de ressources renouvelables éloignées. Les travaux du CNRC ont été étroitement coordonnés avec des travaux complémentaires faits en Allemagne et au Japon dans le cadre du programme de coopération de l'AIE pour des projets intitulés "Stockage et sécurité de l'hydrogène, et conversion à l'hydrogène", établis en 1983 (voir la section intitulée "Sécurité").

Stockage de l'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène constitue une classe spécialisée de stockage d'énergie et un grand nombre des considérations sur le stockage de l'énergie en général s'appliquent également au stockage de l'hydrogène. Le stockage permet d'adapter un taux variable de production à une demande variable et de régulariser les débits énergétiques. Par le passé, des besoins sans cesse croissants de stockage de l'énergie étaient satisfaits en utilisant le pétrole comme moyen de stockage de l'énergie. On ne peut s'attendre à ce qu'une seule technique de stockage satisfasse de façon optimale tous les besoins de stockage, et peu de techniques sont aussi commodes et ont d'aussi bonnes caractéristiques que le pétrole, même dans des domaines d'applications très particulières. De même, aucune technique unique de stockage de l'hydrogène ne peut satisfaire tous les besoins de stockage de l'hydrogène, et pour toute application, on peut choisir parmi plusieurs techniques de stockage. Diverses caractéristiques de techniques de stockage différentes comme la densité de stockage, le débit de décharge, etc., doivent être étudiées pour savoir si elles conviennent à des applications données. Une des activités connexes consistait à se familiariser avec les connaissances scientifiques de base de ces techniques et de savoir jusqu'à quel point ces caractéristiques pourraient être modifiées pour adapter une technique de stockage à une application donnée.

Un niveau de base, le travail a porté sur le stockage à l'aide d'hydrures métalliques, qui ont généralement des caractéristiques très intéressantes du point de vue de la sécurité. Cependant, diverses lacunes relatives à des applications données ont empêché une utilisation répandue de cette technique. Des programmes de recherche sur les mécanismes de base et la manipulation des propriétés des hydrures ont été financés dans bien des pays et certaines applications de non-stockage faisant appel à la compression, au pompage et au pompage thermique de l'hydrogène, ont presque atteint le stade commercial. Un concept relativement nouveau de stockage de l'hydrogène appelé micro-encapsulation a été évalué dans le cadre de ce programme. La micro-encapsulation consiste à charger et décharger de l'hydrogène sous haute pression dans des microcapsules de verre. Cela est rendu possible par la dépendance thermique des caractéristiques de diffusion de l'hydrogène et de la résistance élevée à la traction de certains

matériaux en verre. De nombreuses limitations de ce concept ont été identifiées et modifiées en faisant varier les paramètres des capsules. Selon les dernières indications des recherches, il y avait d'autres techniques plus appropriées dans tous les domaines du stockage de l'hydrogène où ce concept pourrait être appliqué. Il reste à évaluer la possibilité d'applications relatives à la séparation ou à la purification du gaz hydrogène.

Étant donné que jusqu'ici, la majeure partie de l'hydrogène utilisé à des fins commerciales a été produite à la demande à partir du gaz naturel, le stockage de l'hydrogène se limitait donc en pratique au stockage du gaz naturel. De nouveaux procédés de stockage pourraient être préférés à cette technique avec l'avènement de la production d'hydrogène par des cellules électrolytiques commerciales. Le stockage massif d'hydrogène gazeux dans des récipients sous pression au-dessus de la surface du sol ou sous terre, dans des cavités rocheuses, des dômes de sel ou de la roche perméable a été étudié dans le cadre de ce programme, ainsi que le stockage massif d'hydrogène liquide dans des récipients cryogéniques. On a ainsi établi la liste des sites possibles au Canada. Ces sites ont été reliés à des utilisateurs possibles, ce qui a permis d'établir des scénarios plausibles afin d'évaluer des considérations particulières au site, les répercussions importantes de cette technique ainsi que la rentabilité du système. La principale conclusion de ce programme était que le stockage massif de l'hydrogène doit être considéré indépendamment pour chaque cas afin d'établir la meilleure méthode de stockage possible. L'élément du programme intitulé "Vecteurs d'hydrogène liquides" a étudié la possibilité de convertir l'hydrogène électrolytique en un composé chimique riche en hydrogène pouvant être stocké par des méthodes classiques. Cette technique était considérée comme étant particulièrement intéressante pour la production prochaine de combustibles de transport de densité énergétique élevée.

Les aspects de la sécurité d'utilisation des techniques de stockage de l'énergie ont été considérés comme étant de première importance. L'un des principaux problèmes de sécurité d'utilisation est relié à la fragilisation des métaux par l'hydrogène. À l'intérieur de ce programme, les aspects de l'utilisation de l'hydrogène ont été étudiés en relation avec des méthodes de stockage données et, de façon plus générale, dans le cadre d'un élément du programme intitulé "Sécurité des systèmes à hydrogène".

Sécurité des systèmes à hydrogène

Suite à l'accroissement récent de l'intérêt porté à l'utilisation de l'hydrogène, on peut s'attendre à ce qu'un nombre croissant de nouveaux "utilisateurs" (et principalement, au début, les chercheurs en R et D dans les universités et le secteur industriel) soient confrontés avec le problème de

l'utilisation sécuritaire de l'hydrogène au cours d'expériences en laboratoire ou d'applications pilotes. On a donc reconnu la nécessité d'une banque de données complètes sur la sécurité des systèmes à hydrogène accessibles à ces utilisateurs. On s'est également rendu compte que le CNRC nécessitait des conseils d'experts dans ce domaine en ce qui a trait à la structuration d'un programme de R et D sur la sécurité des systèmes à hydrogène, l'obtention et la diffusion des renseignements appropriés, et l'identification des lacunes des règlements, codes et normes.

Le CNRC a répondu de deux façons à ces besoins. D'abord, à partir de 1982, un certain nombre de contrats ont été octroyés dans le but de rassembler les données sur les sujets suivants : les problèmes de sécurité associés à l'utilisation de l'hydrogène comme carburant dans les transports de surface, les problèmes rencontrés dans les matériaux utilisés pour le stockage de l'hydrogène et les répercussions des situations dangereuses sur la conception et le rendement des réservoirs d'hydrogène liquide dans le transport de surface (ce dernier programme était un projet de coopération entre le gouvernement de l'Ontario et l'Allemagne de l'Ouest). Deuxièmement, en 1983, le CNRC a mis sur pied un petit groupe de travail sur la sécurité des systèmes à l'hydrogène qui a entraîné la création au milieu de 1984 du Comité sur la sécurité des systèmes à l'hydrogène dont le mandat était de donner des conseils au CNRC sur la sécurité des systèmes à hydrogène. Les membres du comité provenaient du secteur privé partout au Canada. Au cours de la première année d'existence du comité, les membres ont été très actifs dans bien des domaines, notamment : l'analyse de la situation actuelle en matière de codes, normes et règlements applicables à la sécurité des systèmes à hydrogène, et la recherche de solutions visant à contrer les perceptions négatives du public concernant la sécurité de l'hydrogène. Le comité a également organisé des ateliers sur la sécurité des systèmes à hydrogène au cours de la Cinquième conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie en 1984, ainsi qu'au cours du Second atelier canadien sur l'hydrogène en 1985.

Le CNRC n'a pas été le seul à montrer un intérêt croissant pour l'utilisation de l'hydrogène; plusieurs pays membres de l'Agence internationale de l'énergie en ont fait autant, ce qui a entraîné la création en 1983 d'un nouveau programme de projets de coopération appelé "L'hydrogène : stockage, sécurité et conversion" (Hydrogen Storage, Safety and Conversion). Le Canada participe à ce programme ainsi que le Japon, l'Allemagne, la Suède, la Suisse et les États-Unis. Les activités du CNRC dans le domaine de la sécurité des systèmes à hydrogène ont été mises à contribution à ce programme de l'AIE. Les préoccupations internationale au sujet de la sécurité des systèmes à hydrogène était très fortes et on semblait porter un intérêt particulier aux initiatives du CNRC dans ce domaine.

Analyse des systèmes à hydrogène

Les activités de l'analyse des systèmes à hydrogène avaient principalement pour but d'aider la planification du programme, la prise de décisions et l'établissement de l'ordre des priorités. Les ressources financières du programme n'étaient pas suffisantes pour passer aux démonstrations de systèmes. Les études des systèmes étaient nécessaires pour identifier les éléments critiques ou les besoins de nature technique et non technique qui pourraient faciliter ou empêcher leur commercialisation future. Les facteurs identifiés sont devenus des entrants du programme nécessaires pour structurer ce dernier afin qu'il soit le plus efficace possible. Le personnel rattaché à ce programme a continuellement étudié de nouveaux concepts de systèmes grâce à la consultation d'experts extérieurs au programme ou de documents techniques. Des études économiques et techniques détaillées des systèmes n'ont pas pu être faites à l'intérieur du programme en raison du manque de personnel et de la politique d'impartition du gouvernement. Le but principal de ces études était d'identifier les possibilités et les problèmes particuliers au Canada. Une importante étude faite récemment avait pour but d'identifier, de documenter et d'analyser les nouvelles utilisations possibles de l'hydrogène au Canada, en mettant principalement l'accent sur les applications qui pourraient tirer profit d'une augmentation future de la capacité canadienne de production d'hydrogène électrolytique. L'établissement de l'ordre de priorité et du calendrier futurs du programme devrait tenir compte des problèmes rencontrés au cours des recherches et qui devraient être solutionnés avant que ces applications puissent faire l'objet de démontrations. On a fait bien attention de s'assurer que l'entrepreneur assimilait les données provenant du plus grand nombre possible d'utilisateurs potentiels et que les cas particuliers au Canada étaient bien documentés. Certains éléments de cette activité devraient continuer sous les auspices de l'Hydrogen Industry Council.

Des études de système couvrant un groupe d'intérêt plus spécialisé et plus restreint figurent dans les éléments connexes du programme.

Stockage de l'énergie

Accumulateurs perfectionnés

Au début de ce programme, l'industrie canadienne de fabrication d'accumulateurs était presque entièrement constituée de filiales d'entreprises internationales bien établies. Le seul groupe d'experts du gouvernement fédéral dans ce domaine se limitaient à un seul groupe d'électrochimie au Centre de recherche pour la défense à Ottawa, que a été chargé de la direction technique des activités financées dans le cadre des recherches sur l'énergie.

De cette façon, on a soutenu divers petits projets. Plus tard, avec l'augmentation des capacités techniques et du financement, les activités dans le domaine de l'électrochimie ont été directement gérées par le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

On supposait que la principale utilisation future des accumulateurs rechargeables au Canada serait dans le domaine de la traction. Des activités entreprises dans d'autres pays en ce qui a trait à l'égalisation de la charge pouvaient être accomplies de façon plus économique au Canada par d'autres moyens. Pour pouvoir réaliser un programme suffisamment important dans les limites des ressources disponibles, il était nécessaire de concentrer les travaux sur un seul système à température élevée (450°C) lithium-sulfure de fer. La principale difficulté rencontrée avec ce système était reconnue comme étant le coût excessivement élevé du séparateur au nitrure de bore; on a donc essayé de réduire le coût de ce composant, ce qui a été accompli dans une installation pilote. L'objectif était ensuite de passer de l'échelle des essais statiques en laboratoire à elle d'une technique de production. La dernière étape entièrement subventionnée par le programme de programme de recherche devait être la mise au point et la fabrication d'un protoytpe d'accumulateur de 12 V et d'une enceinte thermique en vue de leur essai. Cette dernière phase a été financée par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le seul accumulateur à température élevée qui puisse concurrencer l'accumulateur au lithium - sulfure de fer était la pile au sodium-soufre qui avait fait l'objet de recherches approfondies dans plusieurs pays depuis plus de 20 ans.

Il était donc essentiel de pouvoir tester et évaluer les résultats de ces travaux de recherche et un pays comme le Canada, qui dépend tellement de la technologie étrangère, devrait pouvoir compter sur des essais indépendants et non biasés. Le noyau de ce programme de recherche a été assemblé dans un programme interne au CRDO sous forme d'un système de recyclage et d'essai de dix cellules.

D'autres sytèmes d'accumulateurs étudiés dans le cadre de ce programme, mais à un niveau moindre, étaient le système d'accumulateurs rechargeables au lithium - sulfure de molybdène à température ambiante, qui utilise une ressource particulièrement abondante au Canada, et la pile aluminum-air qui, bien qu'à un stade de développement moins avancé, promet de donner aux véhicules électriques une autonomie presque égale à celle des véhicules à essence classiques. Ce dernier système est d'autant plus intéressant que le Canada possède déjà une importante industrie de l'aluminum.

Sous-systèmes de véhicules sans hydrocarbures

De nos jours, le véhicule classique (terrestre et maritime) est généralement mû par un moteur thermique alimenté par un combustible de type

hydrocarbures liquides. Dans certaines applications limitées, des véhicules électriques sont maintenant très répandus (camionnettes de livraison en Grande-Bretagne, chariots élévateurs, etc.). Les pertes d'efficacité reliées à la nécessité de dimensionner le convertisseur d'énergie de façon à répondre aux besoins de pointes du véhicule en matière d'énergie ont donné lieu aux configurations dites "hybrides" dans lesquelles les techniques de stockage et de conversion de l'énergie sont combinées de façon optimale. Un exemple de ce procédé est la combinaison moteur/volant d'inertie grâce à laquelle un moteur relativement petit installé dans un autobus municipal réussit à répondre aux besoins moyens en énergie du véhicule. Une partie de l'énergie est emmagasinée de temps à autre dans un volant d'inertie qui sert également à stocker l'énergie de freinage nécessaire. Le volant d'inertie est utilisé pour fournir la puissance élevée nécessaire pour accélérer et gravir les pentes. Entretemps, le moteur fonctionne continuellement avec une efficacité optimale, permettant ainsi des économies nettes en carburant.

Divers travaux de développement des techniques de stockage et de conversion de l'énergie entrepris au Canada et à l'étranger (p. ex. les accumulateurs perfectionnés, les volants d'inertie, les transmissions perfectionnées, etc.) ont démontré la nécessité d'évaluer les besoins additionnels nécessaires en R et D pour assurer leur application dans les secteurs initiaux du marché canadien, de façon à respecter le calendrier établi. Cela a donné lieu à une importante étude portant sur plusieurs techniques de stockage (accumulateurs, stockage mécanique, hydrogène), des techniques de conversion (traction électrique, piles à combustible, moteurs à hydrogène) et autres techniques de sous-système (transmission, contrôleurs, gestion thermique). L'étude faite par une équipe industrielle canado-américaine a également évalué plusieurs marchés du transport maritime, routier, souterrain et ferroviaire. Les résultats de cette étude couvrent un trop grand nombre de facettes pour pouvoir être résumés mais cependant, ils devraient constituer un outil de planification utile au CNRC et à d'autres planificateurs dans ce domaine, principalement parce que cette étude fournissait une méthode de classement qui peut être utilisée comme outil de prise de décisions.

La participation du CNRC à la R et D de volants d'inertie est partie d'une étude faite en 1977 par la Société de développement du transport urbain en Ontario. Cette étude a recommandé le développement de la technique des volants d'inertie pour des applications canadiennes. Les volants d'inertie faits de matériaux composites sont les plus prometteurs pour ce qui est du rendement et aucun pays étranger ne semble avoir pris les devants dans ce domaine. Les volants d'inertie ont une densité énergétique et un taux de charge élevé qui les rendent très appropriés pour les transports urbains, par exemple pour les autobus qui doivent arrêter et démarrer fréquemment.

Le programme de recherche du CNRC sur les volants d'inertie a tiré profit des compétences spéciales que possédait l'Université d'Ottawa et avait comme objectif à long terme de développer une capacité de fabrication canadienne de volants d'inertie perfectionnés faits en matériaux composites. D'excellents progrès ont été réalisés dans le développement de matériaux et des banques de données sur les méthodes de conception, la mise au point de techniques et l'installations de construction, la fabrication de prototypes de rotors et de moyeux, et sur l'essai de ces prototypes à des vitesses élevées avec des cycles de longue durée dans des installations spécialement conçues à cet effet. L'Université d'Ottawa s'efforce actuellement d'intéresser le secteur industriel à cette technique de volants d'inertie.

Stockage thermique

Les techniques existantes permettaient de remplacer le pétrole par de l'électricité produite par des ressources primaires non pétrolières en ce qui a trait au chauffage ambiant. Cette solution était particulièrement intéressante pour les endroits non desservis par le réseau de gaz naturel et pouvait assurer un impact important et une application immédiate. Les difficultés techniques prévues étaient considérées comme peu importantes par rapport à celles rencontrées dans le cas du remplacement du pétrole par l'électricité dans les autres importants secteurs d'utilisation comme les transports. On a cependant reconnu que la conversion directe du chauffage ambiant à l'électricité pourrait entraîner une augmentation de la demande de pointe en électricité. Étant donné que les besoins de ces pointes seraient de plus en plus comblés par des génératrices à turbine à gaz, le remplacement net du pétrole serait réduit. L'utilisation de techniques de stockage permettrait à une compagnie d'électricité non seulement d'éliminer les nouvelles demandes de pointe mais également de réduire les pointes existantes et d'augmenter le pourcentage de production de base à haut rendement.

Il existe bien des techniques permettant le stockage central, qui a l'avantage d'être contrôlé directement par la compagnie d'électricité. Sinon, le stockage peut également être réparti en petites unités domestiques qui ont l'avantage de pouvoir répartir les pointes dans le réseau de distribution et d'empêcher des problèmes de surcharge causés par une augmentation de la demande d'électricité. Cette dernière solution est utilisée depuis de nombreuses années en Europe où une structure variable selon l'heure de la journée encourage les utilisateurs à exploiter des systèmes de stockage thermique. On a considéré qu'il serait préférable que le Canada développe ses propres techniques dans ce domaine et un programme a donc été entrepris dans le but de rechercher le moyen de stockage de chaleur le plus approprié. Divers milieux de stockage de chaleur réelle et latente ont été évalués, et les recommandations finales portaient sur le stockage de

chaleur réelle à haute température. En pratique, il a été impossible d'obtenir des avantages apparents de concepts de stockage de chaleur latente. Par exemple, la soi-disant capacité à fournir une température constante signifiait que l'on devait sacrifier une capacité de recyclage considérable qui était inévitablement présente sous forme de chaleur réelle. Les autres grands inconvénients des systèmes à chaleur latente étaient dus aux difficultés rencontrées au niveau du transfert de la chaleur et à la corrosion des matériaux de stockage. Un petit programme parallèle portant sur un matériau changeant de phase de type sulfate de sodium pour le stockage de l'énergie solaire a été financé pendant une courte période. On s'est cependant rendu compte que les techniques de stockage de l'énergie solaire comportaient des besoins spéciaux et qu'il valai considérer comme partie intégrale de la technologie des capteurs solaires. Les responsabilités en matière d'appareils de stockage d'énergie solaire ont donc été transférées au Programme de l'énergie solaire.

On a donc décidé d'étudier un système de stockage de chaleur réelle à haute température. Les rigueurs de notre climat nous obligeaient à mettre au point des unités de stockage acceptables d'une plus grande capacité que celles utilisées avec succès en Europe. À cette fin, un nouveau matériau formant la partie centrale de chaudières de stockage a été mis au point, à base d'hématite spéculaire d'origine canadienne. Ces nouvelles briques étaient fabriquées selon un procédé mis au point en vertu d'un contrat accordé à la Fondation de recherche de l'Ontario. Leur densité énergétique volumétrique était 40 % supérieure aux briques à base d'olivine prévues par les Américains. De plus, les chaudières conçues et construites par Chromalox Canada incorporaient des éléments chauffants d'une conception améliorée, des systèmes de réglage autonomes et elles étaient plus faciles à installer.

Au début de l'hiver 1983-1984, deux des unités de stockage de chaleur ont été intégrées au programme de gestion de la charge d'Hydro Ontario et quatre autres ont été utilisées dans des essais sur le terrain en cours effectués par des compagnies d'électricité américaines. Les réactions de ces compagnies et des propriétaires ont été très positives, on a même reçu des demandes pour que les chaudières soient laissées là où elles se trouvaient. L'avenir de cette technique au Canada dépend maintenant de l'établissement d'un tarif de l'électricité variable selon l'heure de la journée. Une demande récente par l'Hydro Ontario a été rejetée par la Commission de l'énergie de l'Ontario. Il est possible qu'un marché se développe dans les états du nord des États-Unis où des tarifs variables sont déjà appliqués et dans ce cas, toute la capacité en matière de R et D sera gardée intacte jusqu'à ce que les conditions soient favorables pour une utilisation canadienne.

Les autres concepts étudiés comprenaient des systèmes chimiques réversibles à circuit fermé pour le stockage et la transmission de l'énergie thermique. Mais ces systèmes ne présentent aucun avantage sur les méthodes classiques. Une autre étude portait sur la possibilité d'une thermopompe alimentée au gaz naturel pour le chauffage résidentiel. Aucun système de thermopompe chimique ne présentait un rendement très supérieure par rapport à celui des chaudières concurrentes au gaz à condensation.

7. RAPPORTS CANADIENS EXTERNES

De nombreux rapports ont été produits à partir de travaux exécutés à l'extérieur du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie. Un grand nombre de ces rapports étaient des documents de politique et de planification. Les rapports qui suivent ont eu un impact considérable sur les activités canadiennes qui étaient du ressort du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

"Documentation sur les options en matière de combustibles liquides" : 1980 (34)

Il s'agit d'un rapport sur l'établissement de l'ordre des priorités destiné aux prévisions des coûts des combustibles liquides et à permettre des comparaisons avec une gamme de solutions de rechange. L'énoncé relatif à l'hydrogène mettait l'accent sur son utilisation comme élément clé dans la fabrication des carburants synthétiques. Les concepts relatifs aux coûts de l'hydrogène nous ont par la suite semblé erronés.

Hydrogène utilisé comme carburant dans les transports

L'utilisation de l'hydrogène dans les moteurs, qui a fait l'objet d'expériences témoins dans le monde, continue d'exciter l'imagination tant des scientifiques que des profanes; ce serait le carburant parfait et "définitif". L'hydrogène pourrait en effet devenir ce carburant un jour, mais il faudrait attendre plusieurs décennies. Des problèmes pratiques, qui sont de trois ordres, empêchent d'utiliser l'hydrogène comme carburant au cours du présent siècle, sauf peut-être comme carburéacteur, où son rapport énergie-poids exceptionnellement élevé pourrait constituer un avantage certain à bord des avions. Le premier problème est son coût très élevé de production, que ce soit à partir du gaz naturel, du charbon ou de l'électrolyse de l'eau. La raison principale en est le faible rendement de la conversion. La teneur énergétique de l'hydrogène est beaucoup moins élevée que celle de la charge d'alimentation. Le deuxième problème concerne la distribution et le stockage; comparativement au gaz naturel, qui est déjà distribué au Canada et qui peut être stocké à bord des véhicules sans présenter de problème sauf pour le poids du réservoir et l'autonomie du véhicule, l'hydrogène est singulièrement désavantagé.

Le troisième problème réside dans le fait que l'hydrogène est bien plus utile comme charge d'alimentation pour améliorer d'autres ressources énergétiques en les convertissant sous forme liquide qu'il ne l'est comme carburant. L'hydrogène est l'élément clé de la fabrication et de la valorisation des carburants synthétiques, et le coût de la plupart des nouvelles options en matière de carburant dépend de la façon dont l'hydrogène est produit et avec quelle efficacité il est utilisé. Dans le cas de la plupart des nouveaux carburants étudiés dans ce document, il est question des moyens de stockage et de transport de l'hydrogène combiné chimiquement avec le carbone, moyens dont le rendement énergétique est plus élevé que celui des techniques de stockage de l'hydrogène mises au point jusqu'à présent.

"Alternative Transportation Fuels for Ontario" : février 1981 (35)

Il s'agit d'un document étonnant avec une approche rigoureuse destinée à résoudre quelques-unes des questions soulevées par le rapport d'EMR sur les options en matière de combustibles liquides. Ce rapport prenait en considération toute une gamme d'options en matière de combustibles pour véhicules et prenait la position suivante en ce qui a trait à l'électricité et à l'hydrogène :

Électricité

Le principal objectif pour 1985 est :

- D'encourager l'utilisation de véhicules électriques et hybrides en Ontario.

Les principales tâches comprennent :

- L'établissement des besoins en matière de performance et de fiabilité applicables aux conditions qui prévalent en Ontario.
- Des essais de flottes et des démonstrations.
- La création d'une industrie de composants pour véhicules électriques en Ontario.

Hydrogène

- Étudier la production et l'utilisation de l'hydrogène à des fins de transport.

Les principales tâches comprennent :

- L'évaluation des techniques de production et de distribution de l'hydrogène.
- L'organisation d'une capacité de développement industriel.
- La conception et la fabrication de composants.
- La conception, la construction et l'essai de moyens de transport public.
- La démonstration de l'utilisation de l'hydrogène pour les transports.
- La mise au point d'un équipement de production et d'utilisation de l'hydrogène.

"Énergies de remplacement" : mai 1981 (4)

Il s'agit d'un rapport très peu compris en raison de son incapacité à expliquer les conditions spéciales imposées au Comité parlementaire. Ces conditions ont limité la portée de ce rapport aux formes d'énergie qui

n'étaient pas exploitées de façon importante au Canada à ce moment. Le Comité était principalement chargé de laisser de côté les ressources classiques et de ne prendre en considération que les énergies de remplacement. Dans le cadre de ces contraintes, les recommandations du Comité sont intéressantes à lire et sont très logiques. Voici ce qu'a écrit le Comité en ce qui a trait à l'hydrogène et au stockage de l'énergie :

Piles à combustible - Hydrogène

(33) Le Comité recommande que le financement de la recherche sur les piles à combustible soit entrepris dans le cadre de l'engagement visant le développement au Canada d'une économie fondée sur l'hydrogène. En particulier, le développement des piles à combustible pour le secteur des transports devrait bénéficier d'une haute priorité car l'utilisation de ces piles permettrait de remplacer les carburants, de réduire les émissions nocives des véhicules et de créer un marché pour l'hydrogène. (p. 182)

Hydrogène

(38) Le Comité recommande que le gouvernement du Canada adopte comme objectif de politique à long terme la mise en place d'une filière énergétique dont les principales devises énergétiques seront l'hydrogène et l'électricité. (p. 210)

(39) Le Comité estime que l'hyrogène sera un élément important du système énergétique canadien de demain et recommande que le Canada commence dès maintenant à mettre au point la technologie et l'infrastructure nécessaires à la production, la distribution et l'utilisation de l'hydrogène. (p. 211)

(40) Le Comité reconnaît qu'il faudrait, le plus tôt possible, faire la démonstration d'un système de transport urbain fondé sur l'hydrogène et recommande que l'on aide la recherche dans ce domaine d'application afin de promouvoir une commercialisation rapide. (p. 211)

(41) Le Comité recommande que le gouvernement fédéral se prépare à dépenser, au cours des cinq prochaines années, jusqu'à 1 milliard de dollars afin d'encourager le développement sur une vaste échelle d'une infrastructure énergétique fondée sur l'utilisation de l'hydrogène, afin de faire du Canada le chef de file mondial de la technologie de l'hydrogène. (p. 212)

(42) Le Comité recommande la création d'une commission qui porterait le nom d'Hydrogène Canada, agissant à titre d'organisme central pour toutes les activités de recherche, de démonstration, de développement et de commercialisation de l'hydrogène au Canada. Cette commission relèverait du futur ministre d'État à l'Énergie de remplacement et à la Conservation. (p. 212)

(43) Le Comité recommande que le futur ministre d'État à l'Énergie de remplacement et à la Conservation commence à analyser les progrès

accomplis par Hydrogène Canada après dix-huit mois, et en termine l'examen en six mois. Un examen semblable devrait avoir lieu à l'issu de la quatrième année du programme et, ultérieurement, tous les cinq ans. (p. 212)

(44) Le Comité recommande également que les résultats des comptes rendus périodiques soient déposés au Parlement dans les trois mois qui suivent leur achèvement et, au cas où le Parlement ne siégerait pas à ce moment-là, que le Ministre soit autorisé à les rendre publics. (p. 212)

Accumulateur à aluminium-air

(50) Le Comité recommande que le gouvernement fédéral suive de près la mise au point de la pile à aluminium-air et en appuie la commercialisation au Canada. (p. 221)

Véhicules électriques

(51) Le Comité recommande que le Canada s'intéresse de façon bien plus active à la recherche, au développement et à la démonstration dans le domaine des véhicules électriques. Il doit s'agir d'efforts systématiques axés non seulement sur la propulsion mais également sur la conception et la construction de tous les éléments requis pour produire un véhicule électrique entièrement canadien. (p. 221)

(52) Le Comité est convaincu que les efforts de R et D au Canada devraient porter sur les véhicules entièrement électriques plutôt que sur les véhicules hybrides. Toute activité de R et D qui pourrait porter sur la propulsion hybride doit s'orienter vers la mise au point d'un système hybride piles à combustible/électricité car cela permettrait au Canada de poursuivre de front des recherches sur deux types de propulsion non classique, afin que chacune de ces technologies puisse éventuellement être exploitée séparément. (p. 223)

Hydrogène

(53) Le Canada devrait continuer d'envisager l'hydrogène comme carburant possible pour l'aviation et cette activité devrait s'inscrire dans le cadre des efforts de R et D d'Hydrogène Canada. (p. 225)

La réponse d'EMR en juillet 1982 (36) au document susmentionné était la suivante :

Hydrogène

Il peut y avoir augmentation rapide de l'importance de l'hydrogène sur le plan énergétique. Certaines indications laissent croire que le rôle primordial de l'hydrogène dans un avenir prévisible ne sera pas comme combustible mais comme réactif entrant dans la fabrication des produits chimiques et de charges d'alimentation d'une importance cruciale dans la production

de carburants liquides à partir d'hydrocarbures, plus particulièrement les sables bitumineux, les pétroles lourds et le charbon.

La demande d'hydrogène dans les industries des produits chimiques et des produits pétroliers est censée quintupler d'ici le début du siècle prochain. L'hydrogène d'origine électrolytique pourrait ainsi remplacer, au cours des années 1990, l'hydrogène produit à partir de combustibles fossiles. On peut s'attendre à la mise sur pied d'une importante industrie de production d'hydrogène et l'expérience ainsi acquise pourrait permettre de faire un premier pas vers l'établissement d'une économie fondée sur l'hydrogène, comme le préconise le Comité. Il faut toutefois apporter des améliorations économique et technique majeures avant que l'hydrogène ne puisse faire concurrence aux combustibles classiques et aux énergies de rechange.

Pour étudier les questions de production, de distribution, d'entreposage et d'utilisation de l'hydrogène, le Conseil national de recherches du Canada, de concert avec EMR et d'autres ministères fédéraux, a lancé un programme national de recherche et de développement de l'hydrogène et des produits électrochimiques. Ce programme sera étroitement lié aux activités accrues de recherche au Québec et en Ontario.

Ces initiatives viseront surtout à permettre de remplacer le plus possible l'hydrogène à base de combustibles fossiles par l'hydrogène d'origine électrolytique. Pour ce faire, on étudiera toute une gamme de techniques liées à la production, à l'entreposage et à l'utilisation de l'hydrogène (y compris les piles à combustible), ainsi que celles qui se rapportent aux accumulateurs. Néanmoins, l'infrastructure technologique nécessaire à une économie fondée sur l'hydrogène, telle que préconisée par le Comité, en est encore à sa première phase et il n'est pas possible de faire des prévisions réalistes quant au moment où on pourra l'utiliser. Les efforts déployés à l'heure actuelle en sont à l'étape des travaux de base de R et D. Par conséquent, il sera difficile de justifier un appui aussi marqué que celui recommandé par le Comité dans un proche avenir tant que les chances de succès ne seront pas mieux assurées. La période de temps requise pour l'utilisation de l'hydrogène comme combustible est telle que le Canada peut se permettre de procéder graduellement en vue d'atteindre cet objectif à long terme. Les politiques actuelles du gouvernement sont jugées satisfaisantes pour la promotion d'une industrie de production d'hydrogène conforme à l'objectif à long terme d'une filière énergétique basée sur l'hydrogène.

Rapport du Ontario Hydrogen Energy Task Force : septembre 1981 (28)

Ce groupe de travail a fait une étude aussi détaillée et étendue que celle du Québec, dont le compte rendu contenait neuf recommandations qui ont toutes été ignorées à l'exception de celle sur la création ultérieure de l'Institute for Hydrogen Systems, qui était une réalisation partielle des recommandations n^{o} 3 et 9.

Recommandation n^{o} 1

Le gouvernement de l'Ontario devrait créer un organisme ontarien de développement de l'hydrogène sous les ordres du ministre de l'Énergie, responsable de :

(1) la gestion du programme énergétique de recherche et de développement ontarien sur l'hydrogène,

(2) l'établissement de projets de démontration de techniques prometteuses d'utilisation de l'hydrogène,

(3) l'étude des questions environnementales (y compris la sécurité) directement reliées à l'hydrogène en ce qui a trait à sa production, son entreposage, sa distribution et son utilisation,

(4) l'encouragement de la commercialisation des systèmes à l'hydrogène et de leurs applications, et

(5) la disponibilité de l'alimentation en hydrogène et sa distribution;

et d'accomplir les travaux, toutes les fois que c'est possible, par le biais des ressources établies du secteur privé, des institutions d'enseignement, des organismes gouvernementaux et des sociétés d'état.

Recommandation n° 2

Le gouvernement de l'Ontario doit établir une politique qui permet de fournir l'énergie électrique pour la production d'hydrogène au coût d'approvisionnement de l'électricité produite par les centrales nucléaires productrices d'hydrogène lorsque de telles centrales seront en opération.

Recommandation n° 3

L'Ontario Hydrogen Development Agency doit mettre sur pied un institut pour la mise au point des systèmes à hydrogène sous la juridiction de l'organisme susmentionné pour planifier le programme ontarien de recherche, de développement et de démonstration de l'hydrogène sur le plan énergétique et mener à bien les projets de recherche et de développement choisis après évaluation par l'Institut, portant sur les aspects suivants de l'hydrogène (mais non limités à ces seuls aspects) :

(1) les systèmes pour véhicules; les moteurs à combustion interne; les turbines au gaz, les piles à combustible,

(2) le stockage et le transfert; les techniques d'hydrures métalliques, les systèmes cryogéniques, les études de fragilisation des métaux,

(3) l'électrochimie; les électrolyseurs, les piles,

(4) les questions environnementales; la sécurité, les normes.

Recommandation n° 4

L'Ontario Hydrogen Development Agency doit nommer un conseil consultatif de développement de l'hydrogène représentatif des communautés industrielles, universitaires et gouvernementales ainsi que du public pour la conseiller sur les questions relatives au programme et pour conseiller l'Institut sur les questions scientifiques et techniques.

Recommandation n° 5

L'Ontario Hydrogen Development Agency doit inclure parmi les projets de l'Institut l'étude et, si cela est réaliste du point de vue commercial, la

mise au point de petits systèmes à hydrogène décentralisés pour les marchés nationaux et internationaux.

Recommandation n° 6

L'Ontario Hydrogen Development Agency devrait faire dès maintenant des essais sur le terrain afin d'acquérir le plus d'expérience possible dans la manutention, la distribution et l'utilisation de l'hydrogène, et d'attirer l'attention sur les possibilités de l'hydrogène, si possible conjointement avec les initiatives du secteur privé et public. Les projets à considérer sont :

(1) la conversion des moteurs à combustion interne,

(2) la conversion des turbines à gaz,

(3) l'incorporation de piles à l'hydrogène dans les véhicules appropriés équipés de systèmes de stockage et d'approvisionnement en hydrogène, et

(4) l'utilisation de l'hydrogène électrolytique dans les démonstrations actuelles pour favoriser la production de combustibles liquides synthétiques (méthanol) à partir de la biomasse.

Recommandation n° 7

L'Ontario Hydrogen Development Agency doit encourager, principalement par le biais d'initiatives du secteur privé, une étude détaillée et, si c'est rentable, l'utilisation de l'hydrogène de sources non fossiles dans les opérations de raffinage du pétrole.

Recommandation n° 8

L'Ontario Hydrogen Development Agency doit demander le plus tôt possible une étude des stratégies en vue du déploiement des installations d'électrolyse et des systèmes connexes de distribution de l'hydrogène en Ontario.

Recommandation n° 9

Le gouvernement de l'Ontario doit financer la recherche, le développement et les programmes sur le terrain de l'Ontario Hydrogen Development Agency pour au moins quatre ans, à raison de 10 millions de dollars par année (1981).

Le rôle de l'hydrogène dans l'économie du Québec : décembre 1981 (37)

Ce rapport est le point culminant d'une étude importante entreprise avec l'appui du gouvernement fédéral et du gouvernement du Québec, avec la participation de Noranda, Air Liquide, l'Hydro Québec (IREQ), le groupe SNC, Tektrend International, le CRIQ, l'École Polytechnique et le groupe GEIT. Les recommandations sousmentionnées s'appliquaient à un programme très substantiel. Contrairement à ce qui se passe en Ontario, ce rapport a eu beaucoup plus de succès en ce qui a trait à l'application de recommandations.

Recommandations

1. Que l'industrie et les gouvernements développent la stratégie industrielle proposée par le Comité québécois de l'hydrogène et prennent les mesures nécessaires pour la réaliser.

2. Que l'industrie et les gouvernements développent la stratégie de recherche et de développement proposée ci-après par le Comité québécois de l'hydrogène et prennent des actions concrètes au niveau des programmes pertinents pour garder l'avance déjà acquise au niveau de l'électrolyse et acquérir les positions dominantes désirées dans plusieurs autres secteurs de la technologie de l'hydrogène. À titre d'exemple, voici un certain nombre de programmes qu'il est possible d'envisager :

   a) L'implantation au Québec d'un projet de démonstration d'électrolyse de l'eau de taille industrielle et intégré à une opération industrielle appropriée.

      Budget : 40 M $
      Échéancier de prise de décision : 1982.

      L'Agence Internationale de l'énergie prévoit que le marché mondial pour les gros systèmes d'électrolyseurs sera de l'ordre de 10 milliards de dollars d'ici à l'an 2000 et de 47 milliards de dollars d'ici à l'an 2025. La construction d'un projet de démonstration de taille industrielle s'impose afin d'établir la crédibilité de l'industrie locale et de lancer au plus tôt l'effort d'exportation qui permettrait de garder l'avantage existant dans ce secteur que l'on doit reconnaître comme étant la pierre angulaire du succès à long terme de l'industrie régionale vis-à-vis du marché mondial.

   b) Le développement et la démonstration de l'entreposage des surplus temporaires d'électricité sous forme d'hydrogène.

      Budget de développement : 50 M $
      Échéancier de prise de décision : 1982
      Budget de démonstration : 50 M $
      Échéancier : 1986

      Dans la mesure où un nombre croissant de pays dépendront de plus en plus de leur réacteur nucléaire pour couvrir plus que les besoins de base en électricité, l'existence de surplus temporaires fera apparaître la nécessité de disposer de procédés de stockage. Le stockage d'hydrogène a de fortes chances de devenir la solution à ce problème et on s'attend à ce que des dizaines de grandes unités de stockage au coût de 2 milliards de dollars chacune soient construites. L'échéancier de ce scénario reste néanmoins difficile à établir pour le moment.

   c) Dans le cadre d'un programme international de développement des avions à hydrogène, le développement et la démonstration des installations aéroportuaires requises par ces avions.

      Budget de développement : 50 M $
      Échéancier : 1982-1985
      Budget de démonstration : immobilisations 50 M $
      Échéancier : 1987

L'une des principales conséquences de l'avènement des avions à hydrogène sera la nécessité d'installer dans chaque grand aéroport du monde toute l'infrastructure nécessaire pour l'approvisionnement de ces avions, soit des unités de liquéfaction produisant 1000 tonnes par jour et, éventuellement, les usines d'électrolyse requises, ainsi que tous les équipements auxiliaires nécessaires à l'avitaillement de ces avions, au contrôle et à la sécurité de leurs opérations. Le coût d'équipement d'un aéroport est estimé de façon provisoire à 2 milliards de dollars chacun et on prévoit, au cours des trente prochaines années, en équiper ainsi plus de trente.

d) Dans le cadre du programme international de développement des avions à hydrogène, la prise en charge de certains des points du programme de recherche et de développement, surtout en ce qui a trait aux études préliminaires requises pour le développement du réacteur.

Budget de développement : 25 M $
Échéancier : 1982-1984

L'industrie locale est bien placée pour prendre une part active dans ce domaine. Les réacteurs à hydrogène pourraient à long terme représenter un marché de plusieurs milliards de dollars, sans compter les bénéfices qui proviendraient des programmes d'entretien.

e) Le développement et la démonstration, dans un cadre opérationnel, d'une gamme de moteurs à hydrogène pouvant être utilisés dans des véhicules utilitaires hors routes, ainsi qu'au niveau ferroviaire et maritime.

Budget : 250 M $
Échéancier : 1981-1986

f) La démonstration d'un gazoduc industriel opérationnel pour l'hydrogène.

Budget : 50 M $
Échéancier : 1981-1986

Le remplacement par un gazoduc à hydrogène de seulement 1 % du réseau de gaz naturel aux États-Unis à un coût de 250 000 $ par kilomètre représenterait un marché d'un milliard de dollars. La construction d'un tel gazoduc pilote est nécessaire afin d'incorporer et d'évaluer la technologie de pointe dans ce domaine et d'établir la crédibilité de systèmes du genre, de leurs coûts et de leurs exécutants.

g) Des projets auxiliaires de recherche reliés aux matériaux, procédés chimiques, aspects de sécurité, etc.

Budget : 65 M $
Échéancier : 1981-1986

Il existe un besoin de recherche d'une nature plutôt fondamentale afin d'élaborer sur une base scientifique des normes de sécurité plus détaillées, de déterminer les mécanismes relatifs à la liquéfaction du charbon et des biomasses et de comprendre le phénomène de la fragilisation des métaux et des effets de l'hydrogène liquide sur les matériaux en régime transitoire. Des recherches plutôt pratiques sont requises aussi quant aux possibilités de la production et de

l'emploi non conventionnels de l'hydrogène et à son entreposage sous terre ou par adsorption de surface.

3. Que l'industrie et les gouvernements s'associent dans la création d'organismes de concertation nécessaires au développement et à la croissance de l'industrie de l'hydrogène et plus précisément, qu'un Conseil de l'industrie de l'hydrogène soit créé. Ce Conseil sera constitué sous le leadership de l'industrie et sera composé de représentants des entreprises industrielles, des universités, des centres de recherche et des gouvernements. Il effectuera la coordination permanente entre les divers associés pendant l'exécution du programme multidisciplinaire susmentionné. Il jouera ainsi le rôle d'agent de liaison et développera la stratégie dans ce domaine.

4. Que l'industrie et les gouvernements s'associent dans la création des organismes de soutien technique et plus précisément, qu'un institut de recherche en électrochimie soit créé au Québec dès que possible pour appuyer au niveau des recherches fondamentales et appliquées les efforts industriels locaux de développement dans le domaine de la production de l'hydrogène électrolytique et d'autres domaines associés.

Budget : minimum 20 M $
Échéancier : 1982-1987

"Alternative Transportation Fuels Utilisation Review" : avril 1982 (38)

Il s'agit également d'une étude d'une très grande portée qui porte surtout sur l'application à long terme de l'hydrogène comme combustible pour les véhicules. De plus, le rapport met l'accent sur le rôle de la réglementation ou de l'interventionnisme sur la rentabilité des combustibles de remplacement.

Onze des treize combustibles de rechange étudiés satisfont ou presque les critères établis pour qu'un combustible soit considéré rentable d'ici 1995. Huit de ces combustibles sont évalués plus en détail : le méthanol et les mélanges de méthanol; l'éthanol et les mélanges d'éthanol; le propane et le gaz naturel comprimé; et enfin, l'électricité. Bien que l'hydrogène ne se conforme pas aux critères de sélection, il a toutefois fait l'objet d'une analyse plus approfondie en raison de l'intérêt porté à ces perspectives à long terme.

La date de l'utilisation commerciale varie d'un combustible à l'autre. Comme l'indique le tableau 1.1, seuls le propane et les mélanges d'alcool seront sur le marché comme combustible de transport en 1985. Tous les combustibles à l'exception de l'hydrogène pourraient être utilisés d'ici 1995. Ce tableau indique également l'effet des actions qui accélèrent l'introduction de chaque combustible.

Les cotes sont établies en fonction d'un accord concernant les tendances prévues et du jugement professionnel de l'équipe d'étude. De nombreux facteurs peuvent cependant modifier ces cotes. Par exemple, une amélioration sensible mais non prévue dans la technique des piles pourrait accélérer l'utilisation des véhicules électriques. Des améliorations au chapitre des

Tableau 1.1

DISPONIBILITÉ COMMERCIALE DES COMBUSTIBLES

Combustible	Date prévue	Date accélérée
GNL (propane, butane)	1985	1980
Mélanges de méthanol	1985	1981 - 1983
Mélanges d'éthanol	1985	1983 - 1985
Méthanol (pur)	1990	1985 - 1987
Éthanol (pur)	1990	1985 - 1987
Électricité	1990	1990
Méthane (GNC)	1995	1992 - 1993
Hydrogène	1995+	1995+

méthodes de stockage de l'énergie pourraient entraîner les mêmes résultats dans le cas du gaz naturel comprimé. De plus, les prix relatifs des combustibles peuvent être différents des prix présumés. L'élimination de la taxe routière provinciale actuelle de préférence pour les combustibles de remplacement destinés au transport influerait sur toutes ces énergies.

Le rôle clé que devrait jouer le gouvernement de l'Ontario serait d'assurer le respect des pré-conditions pour la disponibilité commerciale des combustibles de rechange, qu'elle soit réglementaire, technique ou économique. Les exigences varient selon la nature et l'importance des combustibles.

Le degré d'intervention du gouvernement demeure cependant une question de choix et de principe. À notre avis, le gouvernement et l'industrie amélioreraient mutuellement leur compréhension et pourraient établir des priorités en matière de recherche en participant à des conférences et des colloques réguliers et en créant des associations de recherche à un niveau plus officiel. Si le gouvernement de l'Ontario choisit de financer la recherche et le développement technique, il lui faudra prescrire l'ordre des priorités et les lignes directrices.

Les principales caractéristiques des programmes d'encouragement économique sont la cohérence et la stabilité qu'ils assurent au marché. La politique actuelle du gouvernement qui élimine les taxes routières sur les combustibles de remplacement semble répondre à ces objectifs; les consommateurs et l'industrie de l'automobile et des combustibles ont répondu favorablement dans le cas du propane. Bien que ce programme soit une réussite dans le cas du propane, il faut une évaluation ponctuelle de chaque combustible de remplacement par rapport à la politique tarifaire actuelle et aux autres stimulants économiques afin d'évaluer à quel point la pénétration de ce produit doit être encouragée ou accélérée. Les limites de financement de ces programmes d'encouragement doivent évidemment être établies selon différentes hypothèses de pénétration.

Les aspects réglementaires portent sur les règlements ou les normes imposés par le gouvernement pour protéger le public ou les consommateurs et autres groupes d'intérêt. Dans bien des cas, les combustibles de rechange possèdent des caractéristiques qui nécessitent une évaluation de la pertinence des contrôles existants, notamment : les normes sur les émissions, la sécurité du combustible, les procédés de manutention, et les caractéristiques techniques du combustible. Par exemple, l'utilisation du méthanol pur produit des émissions à teneur élevée en aldéhydes qui sont photochimiquement

réactifs mais non réglementés. On connaît très peu leur importance dans le cas d'une utilisation répandue du méthanol. De plus, l'utilisation du méthanol fait courir des risques quelque peu différents de ceux de l'essence, à la fois au chapitre de la toxicité et de la possibilité d'explosion.

Le fait de résoudre les diverses questions réglementaires en même temps que les autres exigences en matière de recherche (p. ex. la recherche technique), plutôt qu'une à la fois, permettrait d'accélérer l'utilisation commerciale de ces énergies de rechange. De plus, l'établissement de normes et d'un cadre réglementaire permettrait d'assigner les objectifs cibles aux programmes de recherche de l'industrie.

Un des rôles clés que doit jouer le gouvernement de l'Ontario est la coordination des activités de recherche technique entre l'industrie de l'automobile et l'industrie des combustibles. L'utilisation commerciale de la plupart des combustibles de remplacement pour les transports comporte de nombreuses questions techniques qui doivent d'abord être résolues. L'industrie est cependant convaincue que ces questions ne sont pas d'importants facteurs limitatifs et qu'elles peuvent être résolues. Leur solution nécessite cependant de la coordination afin d'assurer que les travaux de développement des moteurs et des combustibles soient compatibles.

De plus amples recherches sont nécessaires sur les marchés des véhicules en matière de combustibles de remplacement. Des profils détaillés du marché des flottes commerciales sont nécessaires pour établir un rapport exact entre les combustibles de remplacement et les utilisateurs potentiels. Ces marchés sont très différents en ce qui a trait au type de véhicules utilisés et à leurs applications. Trois marchés commerciaux nécessitent une attention particulière : l'utilisation commerciale des automobiles (y compris les taxis), les camionnettes de livraison urbaine et les camions moyens. Les besoins de recherche comprennent : faire correspondre les types de véhicules aux applications désirées, documenter les cycles de travail et les caractéristiques de rendement et noter toutes les caractéristiques concernant la propriété, l'entretien et l'infrastructure du véhicule. Une suite logique serait de s'attarder à une application donnée plutôt que seulement sur les types de véhicules, afin de mieux savoir dans quel secteur les combustibles de remplacement seraient le plus appropriés pour une pénétration initiale.

"Véhicules électriques en Ontario" : juillet 1982 (39)

Le Groupe de travail sur les véhicules électriques a été mis sur pied sous la présidence du ministère de l'Industrie et du Commerce de l'Ontario en février 1982. Le Groupe de travail comprenait également des représentants du secteur privé, de trois autres organismes provinciaux et de trois ministères fédéraux.

Son mandat était d'évaluer le potentiel technique, commercial et économique des véhicules électriques, d'identifier les principales possibilités, les obstacles majeurs, les principaux frais et bénéfices reliés à leur mise à jour, production et utilisation, et identifier les choix industriels et gouvernementaux possibles en vue d'accélérer la commercialisation des

véhicules électriques en Ontario et ailleurs au Canada, avec des possibilités d'exportation aux États-Unis.

Le Groupe de travail est convaincu qu'en vertu de son mandat, il doit appuyer les objectifs énoncés par le Board of Industrial Leadership and Development (BILD). Voici quelques-uns de ces objectifs, tels qu'ils sont énoncés dans le document "Building Ontario in the 1980's" :

Électricité :

> ... préparer l'Ontario en vue de la transition à un système économique au cours des années 80 basé sur l'électricité et la technologie nucléaire... Le réseau électrique de la province sera utilisé toutes les fois que cela sera possible pour remplacer la consommation de pétrole... obtenir des avantages économiques massifs par le remplacement du pétrole par une source d'énergie locale... assurer une meilleure sécurité énergétique pour l'avenir économique de l'Ontario... garder l'Ontario en tête de la technologie électrique.

Transport :

> ... promouvoir vigoureusement le développement et l'adoption de systèmes de transport qui conservent l'énergie, réduire la consommation de pétrole et tirer profit de l'efficacité démontrée de la technique ontarienne en matière de transport.

Véhicules électriques :

> Pour aider à préparer l'industrie en vue de l'avènement de ces véhicules (électriques), le gouvernement de l'Ontario continuera à mettre de l'avant une stratégie destinée à encourager l'industrie des véhicules électriques en Ontario".

Le Groupe de travail s'est particulièrement intéressé aux initiatives du gouvernement dans ce domaine, qui sont résumées comme suit :

> Pour ces raisons, le Groupe de travail est fermement convaincu que les gouvernements et les compagnies d'électricité du Canada, et plus particulièrement le gouvernement de l'Ontario et le gouvernement fédéral, devraient jouer un rôle plus actif dans le soutien du secteur privé en vue du développement et de la commercialisation des véhicules électriques au pays.
> C'est pourquoi le Groupe de travail rejette l'option selon laquelle les activités de l'industrie et du gouvernement ayant trait aux véhicules électriques devraient se poursuivre au rythme actuel.

Le Groupe de travail a défini le programme suivant en ce qui a trait aux piles et accumulateurs :

> Le développement et l'application concentrés visant à produire des prototypes techniques et commerciaux de jusqu'à trois des piles et accumulateurs les plus perfectionnés; les piles et accumulateurs les plus prometteurs

pour ce choix comprennent ceux aux zinc-chlore, zinc-bromure, lithium-sulfure métallique, aluminium-air et sodium-soufre; des discussions devraient être entreprises immédiatement avec les compagnies travaillant à la recherche et au développement de ces piles et accumulateurs pour savoir jusqu'à quel point le gouvernement peut agir en tant que catalyseur afin d'augmenter les efforts consentis et de réduire ainsi le temps nécessaire pour produire des piles et accumulateurs appropriés aux véhicules électriques.

Cet accroissement de l'effort dans la mise au point de piles et d'accumulateurs, qui doit être financé et entrepris conjointement par l'industrie et le gouvernement, pourrait se faire en grande partie dans un centre de développement et d'essai des piles et accumulateurs, par exemple le centre d'essai agrandi exploité par le gouverment fédéral près d'Ottawa, et il pourrait être mené à deux ou trois endroits où le secteur privé a déjà entrepris des travaux de développement; une décision à ce sujet devrait être prise au début de ce programme de trois ans, en fonction des discussions avec les firmes du secteur privé qui font des recherches dans ce domaine.

8. ACTIVITÉ INTERNATIONALE

Le Canada s'est impliqué dans des programmes de coopération internationale, surtout par sa participation à l'Agence internationale de l'énergie. De plus, le Canada participe aux travaux de l'Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau à Laxenburg-Vienne en Autriche. Ces deux activités, principalement la première, ont eu un impact majeur sur le Programme canadien de l'hydrogène et du stockage de l'énergie.

L'Agence internationale de l'énergie est un organisme autonome au sein de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). Le Canada a participé à des programmes coopératifs en vertu de l'Accord sur l'hydrogène (Hydrogen Implementation Agreement) signé en octobre 1977. Les autres participants comprennent de nombreux pays européens, ainsi que le Japon et les États-Unis. Le figure 11 indique la répartition du Programme de l'hydrogène de l'AIE en diverses tâches, et le tableau 1 indique la participation et la représentation nationales par programme.

Le Programme coopératif sur l'hydrogène de l'Agence internationale de l'énergie a fait l'objet d'une présentation lors de la 5^{e} Conférence mondiale sur l'énergie hydrogène (40).

Les accords actuels ont été formulés en des temps très différents, alors que prévalaient les thèmes de la crise de l'énergie. Bien des pays, y

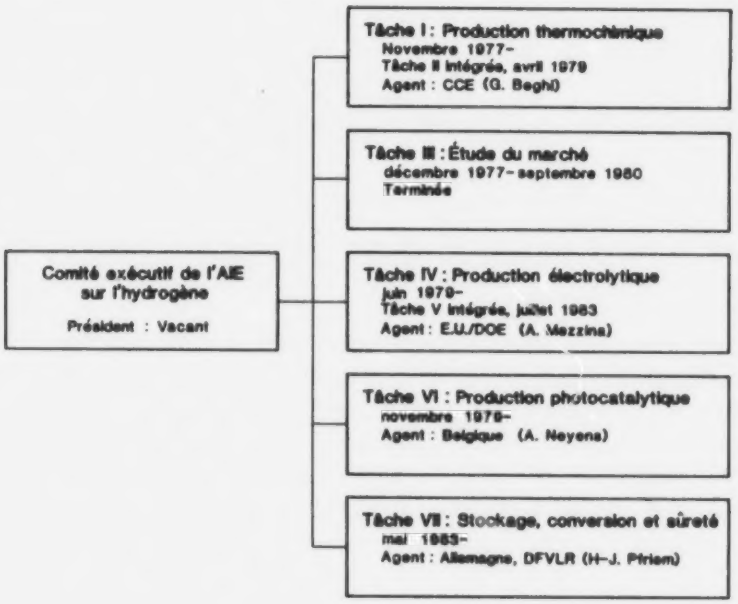


Figure 11. Programme coopératif de l'AIE sur l'hydrogène (activités).

Tableau 1. Programme de l'hydrogène de l'AIE (participation et représentation nationales)[1]

Pays	Participants	Participation aux tâches				Comité exécutif	
		I	IV	VI	VII	Membre	Membre Suppléant
Belgique	Centre d'étude de l'énergie nucléaire		X	X		F. Altdorfer	H. Vandenborre ou M. Reniers
Canada	Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources Mines Noranda Ltée. Électrolyseur Corp.		X	X	X	J.B. Taylor	A.K. Stuart
CCE	Commission des communautés européennes	X	X	X		A. Strub	G. Beghi
Allemagne	Kernforschungsanlage Jülich	X	X		X	N. Stump	B.D. Struck
Italie	Comitato Nazionale per L'Energia Nucleare		X			S. Ferrari	S. Sabbadini
Japon	Gouvernement du Japon	X	X		X	T. Hirano	H. Irisawa
Suède	Commission de recherche sur l'énergie				X	B. Finnström	
Suisse	Département Fédéral de l'Intérieur			X	X	P.E. Zinsli	
Royaume-Uni	The City University of London		X			A.C. Tseung	K.E. Langley
É.-U.	US Department of Energy	X	X	X	X	J.J. Brogan	M. Gurevich

[1]Agents :
Tâche I : Production thermochimique : CCE, par l'entremise du Centre de recherche conjoint. G. Beghi.
Tâche IV : Production électrolytique : DOE (É.-U.), par l'entremise du Brookhaven National Laboratory. A. Mezzina.
Tâche VI : Production photocatalytique : Katholieke Universiteit Leuven, Belgique. A. Neyens.
Tâche VII : Stockage, conversion et sûreté : L'Allemagne par l'entremise du DFVLR. H.J. Pfriem.

compris le Canada, cherchaient des moyens de redéfinir les programmes individuels et la coopération internationale. Leurs délibérations ont été résumées dans un rapport de travail préparé pour le Comité exécutif de l'hydrogène de l'AIE par le président de l'époque, qui était le représentant du Canada. Le Comité a ensuite approuvé ce rapport au cours de son assemblée générale tenue à Stockholm en mai 1985. Étant donné que ce rapport n'est pas facilement accessible et que nous considérons qu'il est actuellement très pertinent vu les futures activités aussi bien sur le plan national qu'international, nous en présentons le résumé ci-dessous et le reste du rapport est reproduit à l'annexe B.

RÉSUMÉ

L'opinion générale de nombreux experts internationaux sur l'énergie hydrogène a été utilisée pour définir les possibilités de la future coopération dans les programmes de R & D. Plusieurs d'entre eux présentent des arguments puissants en faveur de la nécessité de continuer d'explorer le rôle possible de l'hydrogène dans les futurs systèmes énergétiques. Cependant, la principale association de l'hydrogène avec les nouveaux systèmes énergétiques laisse entendre qu'il faut plutôt considérer les perspectives d'avenir à long terme. Cela suppose que les techniques qui pourraient donner certains résultats concrets ne sont probablement pas celles utilisées actuellement. Tout cela influe considérablement sur la teneur et la portée des programmes de R & D étant donné que ces derniers doivent faire face aux exigences actuelles. On indique clairement qu'il faudrait mettre plus l'accent sur le contenu de recherche scientifique.

Le rôle de la coopération internationale est analysé en ce qui a trait à l'évolution normale d'une idée de l'invention aux applications techniques. On y identifie les importants avantages de la coopération à certaines étapes du processus. Cette coopération doit impliquer la communauté de recherche et développement, les gouvernements, les utilisateurs possibles et l'industrie. Cependant, la coopération doit être internationale étant donné l'importance de la question énergétique et la nature planétaire du problème environnemental."

La deuxième activité internationale mentionnée dans le paragraphe d'introduction est l'Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau (IIASA), institut de recherche international multidisciplinaire non gouvernemental créé en 1972 par les académies des sciences et les organismes équivalents de 12 pays (y compris le Canada). Son but est d'étudier les problèmes communs résultant du développement scientifique et technologique. Les problèmes de pertinence de ce programme ont trait à l'approvisionnement en énergie et à la disponibilité de cette dernière. Ces problèmes ont été examinés dans une étude sur l'énergie dirigée par W. Hafele et présentée dans le rapport énergétique de l'IIASA intitulé "Energy in a Finite World" (41). Cette publication (revue par R. Whitehead (42) souligne l'interdépendance de tous les pays en ce qui a trait à l'énergie et permet de faire des hypothèses sur les implications politiques des futurs changements dans les sources d'énergie. L'étude porte sur une période de 50 ans, de 1980 à 2030, et utilise un modèle planétaire comprenant sept régions possédant des ressources énergétiques et des structures économiques semblables. Cette période devait embrasser celle de la transition des systèmes à combustibles fossiles non renouvelables aux systèmes permanents basés sur des combustibles renouvelables ou non épuisables; l'étude a cependant démontré qu'il faudrait attendre beaucoup plus longtemps avant d'atteindre cet idéal. On avait envisagé une évolution continuelle et graduelle de la dépendance vis-à-vis du pétrole et du gaz naturel bon marché grâce à une grande utilisation de combustibles fossiles moins appropriés nécessitant un traitement coûteux pour en faire des combustibles

secondaires. Une importante décision étant le choix entre utiliser un grand pourcentage de combustibles fossiles pour fournir la chaleur et l'hydrogène destinés aux traitements chimiques d'amélioration de ces combustibles, et utiliser des sources d'énergie exogènes.

> Juste au moment où il y a un déplacement progressif de la demande vers des combustibles riches en hydrogène (principalement le méthane), une partie encore plus grande de nos réserves sera constituée de combustibles pauvres en hydrogène (principalement le charbon et le pétrole lourd). Autrement dit, il y a actuellement une pénurie d'hydrogène dans notre système de combustibles chimiques actuel. Ainsi, tout effort tenté pour faire de l'hydrogène un produit de remplacement possible pour les combustibles fossiles a l'avantage additionnel d'améliorer encore plus vite l'utilité des combustibles fossiles qui restent.

9. PRINCIPAUX ÉVÉNEMENTS

Un certain nombre d'événements qui se sont produits au Canada et ailleurs ont eu des répercussions sur la forme et l'échéancier du programme. D'après les auteurs, les événements ci-dessous sont ceux qui ont eu des répercussions importantes. Sachant cela, le lecteur pourra mieux comprendre les points de vue de ceux qui ont planifié et dirigé le programme de R et D.

1976 : Le Cabinet a créé le Comité et le bureau interministériels de la recherche et du développement énergétiques, qui sont demeurés les principaux centres de planification et de politiques jusqu'à 1985.

1977, juin : Le Conseil national de recherches a reçu la responsabilité de ce programme (J.B. Taylor nommé directeur du programme).

1977, juillet : Première et seule assemblée générale du Groupe de travail canadien sur l'hydrogène; étaient présents :

E. M. Jones	Centre de recherche Noranda
G. Bélanger	Institut de recherche de l'Hydro-Québec
N.R. Bharucha	Centre de recherche Noranda
R.P. Charbonnier	Énergie, Mines et Ressources/BRDE
C. Gardner	Centre de recherches pour la défense/Ottawa
M. Hammerli	Énergie atomique du Canada Limitée/CRNL
J. Harrison	Département d'État chargé des sciences et de la technologie
J. Howieson	Énergie, Mines et Ressources/SPE
G.A. Ingham	Industrie et Commerce/OST
W.F. Johnson	Transport Canada
H.A. Kozlowska	Université d'Ottawa
R. LeRoy	Centre de recherche Noranda
D.S. Montgomery	Énergie, Mines et Ressources
A.K. Stuart	Electrolyseur Corp. Ltée.
J. Taggart	Transport Canada
J.B. Taylor	Conseil national de recherches
J.H. Walsh	Énergie, Mines et Ressources/S et T

1977, oct. : L'accord sur l'hydrogène de l'Agence internationale de l'énergie a été signé à Paris et les deux premières tâches

ont été entreprises. Il s'agissait de deux tâches de production thermochimique auxquelles ne participait pas le Canada.

1978, février : Première assemblée du Comité consultatif canadien sur l'hydrogène. Étaient présents :

E.M. Jones	- Centre de recherche Noranda (président)
A.K. Stuart	- Électrolyseur Corp. Ltée. (représentant de l'AIE)
M. Hammerli	- Énergie atomique du Canada Limitée/CRNL (secrétaire)
J. Abouchaar	- Transport Canada
G. Bélanger	- Institut de recherche de l'Hydro Québec
N.R. Bharucha	- Centre de recherche Noranda
R.P. Charbonnier	- Énergie, Mines et Ressources/BRDE
M.A. Chochinov	- Conseil de l'énergie du Manitoba
B. Cook	- Énergie, Mines et Ressources/BRDE
S. Das Gupta	- HSA Reactors Ltd.
C. Gardner	- Centre de recherches pour la défense/Ottawa
W. Hindle	- Pipelines Trans Canada
G.A. Ingham	- Industrie et Commerce/OST
W.F. Johnson	- Transport Canada
H. Kozlowski	- Université d'Ottawa
J.F. Legg	- Énergie, Mines et Ressources/BRDE
R.L. LeRoy	- Centre de recherche Noranda
D.J. MacKinnon	- CANMET
E.J. Smith	- Industrie et Commerce
J.B. Taylor	- Conseil national de recherches

1978 : Le Programme canadien des systèmes de stockage et de conversion de l'énergie et des systèmes à l'hydrogène a été restructuré dans le cadre de la Tâche 1 (conservation) du BRDE.

1979, juin : Le Canada (ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources) a signé l'accord d'application de l'AIE et présenté un programme dans le cadre des tâches IV et V de cet accord. (M. Hammerli a été nommé personne-ressource pour le Canada pour ces deux tâches).

1979, nov. : Le Canada a participé à la nouvelle tâche VI de l'AIE sur la production photocatalytique de l'hydrogène (S. Ahmed a été nommé personne-ressource pour le Canada).

1979 : Une réunion internationale a été tenue à Stuttgart, en Allemagne, sur l'hydrogène dans les transports, le Canada étant un participant invité.

1980, juillet : Un programme international de R et D pour les aéronefs à l'hydrogène liquide (43) recommandait des dépenses de 73 millions de dollars au cours des trois années suivantes pour un programme de démonstration.

1980 : Le Programme national de l'énergie (2) a été rendu public (voir section 2). Ce programme met l'accent sur les combustibles de remplacement et prévoit des fonds additionnels pour la R et D en énergie.

1981, février : Une étude sur l'établissement d'un centre de technologie électrochimique (27) a été terminée et recommandait des modalités de procédure, d'opération et de gestion fiscale d'un tel centre, reconnaissant la rareté des activités et des compétences canadiennes dans le domaine de la technologie électrochimique.

1981, mai à
1981, sept. : Les intérêts représentatifs des provinces de Québec et de l'Ontario ont été présentés dans les rapports suivants : "Élaboration d'une stratégie québécoise de R et D sur l'hydrogène comme vecteur d'énergie" (44), et Report of the Ontario Hydrogen Energy Task Force (28).

1981, mai : Rapport du Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole (4), qui recommandait l'adoption d'un objectif de politiques à long terme pour les systèmes énergétiques électriques et à l'hydrogène, l'accélération des dépenses de R et D et des dépenses d'un milliard de dollars pour la technologie et l'infrastructure au cours des cinq prochaines années. Ce rapport recommandait également la commercialisation des piles et accumulateurs perfectionnés et l'accroissement de la recherche dans le domaine des véhicules électriques. Ces mesures étaient considérées au niveau international comme étant un engagement sérieux du Canada pour l'utilisation de l'hydrogène.

1981, juin : Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada a répondu (36) au rapport de l'énergie de remplacement du pétrole (4) en rejetant dans leurs grandes lignes les propositions concernant l'application accélérée des nouvelles techniques énergétiques.

1982, janv. : Le Conseil de l'industrie de l'hydrogène a été formé selon les recommandations du rapport du Québec (voir section 10).

1982, mai : L'Association canadienne de l'énergie hydrogène a été formée en relation avec l'Association internationale de l'énergie hydrogène.

1982, sept. : La Tâche VII de l'AIE, stockage, conversion et sécurité de l'hydrogène, a été approuvée (J.R.B. Murphy a été nommé personne-ressource pour le Canada). Le Canada a participé intensivement.

1982, oct. : J.B. Taylor (Canada) a été nommé président du Comité exécutif de l'hydrogène de l'Agence internationale de l'énergie.

1983, janvier : L'Institute for Hydrogen Systems (Toronto) a été constitué en corporation grâce au financement du gouvernement de l'Ontario. Les investissements en équipement ont ensuite été faits par le CNR.

1983, mai : Le 1er Atelier canadien sur l'hydrogène a été tenu à Vancouver; les comptes rendus de cet atelier ont été publiés dans l'International Journal of Hydrogen Energy, V8, n° 4, 1983.

1984, juillet : La 5^{e} Conférence mondiale sur l'énergie hydrogène s'est tenue à Toronto. Cette réunion a attiré plus de 500 participants provenant de 32 pays (13).

1984, nov. : Le financement du Programme énergétique a été coupé et la Division de l'énergie du CNRC a cessé d'exister. Pendant une période de 12 mois, la responsabilité du programme a été transférée au Bureau de recherche et de développement en énergie d'EMR.

1985, sept. : Le 2^{e} Atelier canadien sur l'hydrogène s'est tenu à Halifax et a reçu un important appui du Conseil de l'industrie de l'hydrogène. Des rapports seront publiés individuellement dans l'International Journal of Hydrogen Energy.

10. RÉALISATIONS TECHNIQUES

Quelques-uns des principaux événements techniques se sont produits à l'intérieur du mandat du programme. Voici une liste incomplète des travaux effectués au Canada et ailleurs qui ont contribué d'une certaine façon à façonner l'évolution du programme canadien en définissant de nouvelles cibles, en produisant de nouvelles données, en fournissant de nouvelles capacités, en établissant de nouveaux principes, en prouvant de nouvelles technologies, etc.

- Les électrolyseurs hydrauliques unipolaires perfectionnés, ayant fait l'objet d'une démonstration à l'échelle commerciale par Noranda-/Électrolyseur/IREQ (Canada) : production à très grande échelle de l'hydrogène dans un système à coût optimisé.

- Un électrolyseur hydraulique alcalin perfectionné mis au point à l'aide d'un séparateur à base d'acide polyantimonique (Belgique) : a atteint ses objectifs de rendement et de coût comme système bipolaire alcalin.

- Un électrolyseur hydraulique EPS (électrolyte polymérique solide), démonstration à grande échelle par General Electric (É.-U.) : a défini de nouveaux paramètres d'objectifs de rendement et de coût.

- Mise au point et fabrication de nouvelles membranes polymériques résistant aux solutions alcalines à des températures élevées (Canada) - séparateurs et nouveaux électrolytes polymériques solides pour les électrolyseurs et les piles à combustible perfectionnés.

- Mise au point, fabrication et essai d'un électrocatalyseur de type pérovskite pour la libération d'oxygène (Canada, Belgique). Appropriés pour les électrolyseurs hydrauliques alcalins perfectionnés fonctionnant à des températures pouvant atteindre 200°C.

- Mise au point de techniques de production de β"-alumine stable de qualité supérieure (Canada) : électrolyte solide pour pile à combustible, accumulateur et électrolyseur à vapeur.

- Démonstration de la décomposition de l'eau par la lumière visible et des électrodes photocatalytiques stables (Banarjee et Bockris, É.-U.) - réalisation d'un rêve : extraire du combustible directement via la lumière, mais technique dont le caractère est mis en doute.

- Démonstration de l'usine de Cristina à Ispra pour la production d'hydrogène thermochimique (CEE) : les résultats n'indiquent pas les avantages financiers par rapport à ceux de l'électrolyse perfectionnée.

- Thermopompe hybride (Japon) : démonstration précommerciale.

- Véhicules à l'hydrogène utilisés sur les routes publiques (Berlin) : ont démontré la sécurité et la capacité du stockage hybride.

- Utilisation d'hydrogène liquide avec la navette spatiale (NASA, É.-U.) : impact technologique sur l'utilisation et la sécurité de la manipulation de l'hydrogène liquide; a également créé une grande demande pour l'hydrogène liquide.

- Plans préliminaires d'un avion à hydrogène liquide terminés (É.-U.) : avantages économiques d'un avion à long rayon d'action.

- Moteur à hydrogène à injection directe (Japon) : a résolu les problèmes de préallumage et a permis un excellent fonctionnement à pleine puissance.

- Bon fonctionnement d'un moteur diesel moderne alimenté à l'ammoniac (Canada) - aucun additif de combustion nécessaire, autoallumage et rendement élevé à pleine puissance.

- Démonstration d'une automobile alimentée au méthanol dissocié (SERI, É.-U.) : a alimenté un débat, toujours en cours, sur les avantages que peut offrir un tel procédé en matière d'efficacité thermique.

- Pile à combustible de 4,5 MW testée pour la production d'électricité par United Technologies (É.-U.) : a entraîné des applications de charge de pointe en matière de stockage d'hydrogène.

- Piles à combustible à électrolyte solide, démonstration par Westinghouse (É.-U.) et Dornier (Allemagne) : système bon marché sans aucun catalyseur à base de platine.

- Nitrure de bore poreux (Canada) - procédé bon marché mis au point pour fabriquer des séparateurs d'accumulateurs.

- Production d'un prototype d'accumulateur Li/FeS pour les véhicules électriques (Canada) - accumulateur à puissance énergétique élevée faisant appel à des séparateurs en nitrure de bore.

- Hybrid and Electric Vehicle Demonstration Act (É.U.) : a établi les paramètres-cibles pour la mise au point de véhicles électriques et d'accumulateurs.

- Conception et fabrication de volants d'inertie optimisés en fibre composite (Canada) - stockage sans danger d'énergie à grande puissance à court terme.

- Stockage thermique à capacité élevée pour le chauffage ambiant électrique (Canada) - essais concluants sur place d'un prototype de chaudière domestique.

Lors de l'évaluation des réalisations du programme, on doit faire la distinction entre les projets qui ont entraîné la production d'équipement tangible et ceux qui n'ont donné aucun résultat concret. Il arrive souvent que la différence ne reflète que la maturité du sujet en question. Très peu de projets n'ont pas atteint leur objectif. Les travaux de recherche constituent évidemment un risque plus élevé que le développement technique. Cependant, ces premiers travaux coûtent beaucoup moins cher et le risque économique et global est très faible. On ne doit pas limiter notre évaluation aux seuls objectifs du projet ou à une simple analyse des coûts et bénéfices. Las majeure partie des activités du programme étaient axées sur l'établissement de liens et de réseaux de communication efficaces. Cela a eu pour effet de créer un groupe entièrement nouveau représentant les secteurs industriels, gouvernementaux et universitaires. La dispersion possible de ce groupe constitue probablement l'effet simple le plus grave des coupures de novembre 1984. Des signes encourageants indiquent cependant que certaines parties de ce groupe survivront, particulièrement celles qui s'occupent de sujets intéressant le Conseil de l'industrie de l'hydrogène.

Lorsqu'on jette un coup d'oeil sur les principaux projets d'équipement du programme, on peut se rendre compte des progrès accomplis dans tous les secteurs. L'accumulateur Li/FeS a été mis au point par l'Hydro-Québec parallèlement aux travaux américains faits dans les laboratoires Argonne. En 1982, cette technique a été transférée à une entreprise commerciale et en 1984, elle a incorporé celle d'un nouveau séparateur bon marché pour donner un produit très prometteur. Ce produit est encore bien loin d'un marché de plusieurs millions d'unités. Pour l'instant, le marché est difficile à prévoir étant donné qu'un seul véhicule a fonctionné avec succès à l'aide d'un accumulateur à température élevée. Les véhicules électriques à accumulateur en général n'ont pas fait de percée dans le marché des transports.

Toujours au sujet de la propulsion des véhicules, on trouve de grandes similitudes avec le projet de volants d'inertie en fibres composites. Là encore, le programme canadien est parti d'une technique étrangère mais a suivi une méthode unique. Ces travaux étaient motivés par des raisons semblables à celles des travaux sur les accumulateurs. On ne savait pas si un dispositif efficace pouvait être fabriqué de façon économique, s'il pouvait donner de bons résultats, ni s'il était sûr. Les résultats de ce projet indiquent qu'un tel dispositif peut probablement répondre à toutes ces exigences. Ce projet n'a pas encore été transféré à un promoteur commercial et on n'en a pas très bien délimité le marché. En principe, ce dispositif doit réagir aux demandes passagères de puissance élevée dans les véhicules équipés de petits moteurs ou de systèmes de propulsion à faible densité de

puissance comme les piles à combustible. L'apparition de ces véhicules sur le marché semble maintenant repoussée à un avenir lointain étant donné que les raisons motivant leur mise au point sont temporairement disparues.
Les succès du programme dans le domaine de la mise au point des électrolyseurs ont reçu une bonne couverture publicitaire. Là encore, il s'agit d'une réalisation uniquement canadienne. Il y a beaucoup de travaux qui se font partout dans le monde sur les électrolyseurs perfectionnés, mais à l'exception du Canada, tous ces travaux sont concentrés sur les systèmes bipolaires. Le système Noranda/Électroyseur est unipolaire. Ses caractéristiques de rendement sont différentes de celles des produits des autres fabricants. Il est spécialement conçu pour les usines importantes de l'ordre de plusieurs centaines de mégawatts et, dans ces conditions, il peut produire de l'hydrogène à un coût concurrentiel par rapport aux autres systèmes perfectionnés. Sa technologie sera démontrée dans une usine pilote qui doit être construite à Bécancour au Québec. L'usine de 25 millions de dollars produira 10 tonnes d'hydrogène liquide par jour et sera la propriété d'Air liquide et d'Hydro-Québec. C'est la deuxième usine de production d'hydrogène liquide au Canada. L'autre appartient à Air Products et se trouve à Sarnia en Ontario; elle utilise également de l'hydrogène électrolytique qui, dans son cas, est un sous-produit d'une usine de soude caustique voisine.

Les électrolyseurs de la prochaine génération fonctionneront vraisemblablement à des températures plus élevées et à des charges de courant beaucoup plus fortes, de façon à réduire le coût des investissements par unité d'hydrogène produite. Le programme a porté son attention sur les matériaux entrant dans la construction de ces électrolyseurs et a réussi à mettre au point de nouveaux produits uniques, tant pour les matières polymériques que pour les matières céramiques. Il ne fait aucun doute que ces deux inventions seront mises sur le marché.

Un projet d'application à plus court terme et beaucoup moins fascinant portait sur l'application de l'électricité pour le chauffage ambiant. Il est évidemment possible de remplacer le pétrole directement par l'électricité sans faire appel à de nouvelles techniques. Il s'agit en fait d'un cas presque unique étant donné que ce changement peut s'effectuer sans nécessiter de nouvelles technologies. Cependant, les charges du chauffage ambiant augmentent considérablement la demande de pointe. Il en coûte généralement beaucoup à une compagnie d'électricité pour fournir cette capacité de pointe et il lui faut souvent consommer du pétrole. L'utilisation d'unités de stockage thermique dispersées peut répondre à la demande du chauffage ambiant sans avoir d'effet sur le consommateur. Ces dispositifs de stockage sont très répandus en Europe, où les tarifs électriques variant selon le moment de la journée sont déjà en vigueur. Les charges thermiques au Canada sont très différentes de celles d'Europe, et il nous faut donc un

meilleur milieu de stockage. Dans le cadre du présent programme, une meilleure brique de stockage a pu être mise au point et adaptée avec succès dans une unité de chaudière. Ces unités font actuellement l'objet d'essais sur place dans deux états des États-Unis et en Ontario. Leur rendement était très bon.

De nombreux autres projets beaucoup moins importants ont été entrepris. Certains étaient accompagnés de travaux d'études et d'analyses qui fournissaient des intrants pour l'exercice de planification du programme. En rétrospective, on considère que ces travaux auraient pu et auraient dû être exécutés à l'intérieur du CNRC par un groupe d'analyse appropriée. Cette façon de procéder aurait été plus rentable que celle choisie. D'autres projets d'équipement représentaient des points d'entrée exploratoires dans des projets beaucoup plus importants, comme les utilisations de l'ammoniac ou de l'hydrogène comme carburant de moteurs. Là encore, les sociétés contractuelles ont atteint tous les objectifs du projet et les résultats encourageants justifiaient des travaux de suivi.

C'était particulièrement vrai dans le cas de l'ammoniac, que les critiques refusent souvent de considérer comme un combustible de remplacement. C'est en réalité le seul combustible liquide pouvant être stocké à température ambiante qui peut être produit sans incorporer du carbone. Il ne faut que de l'électricité, de l'eau et de l'air pour produire de l'ammoniac. En tant que carburant de moteur, son rendement est très bon, au moins aussi bon que le propane.

Malgré ce brillant rapport sur le succès technologique du programme, pas une goutte de pétrole n'a été remplacée, mais cependant, les auteurs n'en sont pas bouleversés pour autant et ce pour deux raisons : d'abord, le travail est incomplet et ensuite, l'objectif du programme portait sur la R et D dans les domaines relevant des objectifs du Programme national de l'énergie. Un programme de R et D diffère considérablement d'un exercice d'application ou de mise en oeuvre. Le CNRC ne possède tout simplement pas les outils ni les ressources nécessaires pour mettre en oeuvre quelque chose de cette nature, mais au cours de ces travaux, le Conseil a clairement démontré son aptitude à créer les conditions nécessaires pour que d'autres puissent passer à l'action.

11. QUESTIONS D'ORGANISATION ET DE GESTION

Étant donné que le présent document a été compilé par l'ancienne direction du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, il ne conviendrait pas que la présente section fasse la critique de l'orientation, de la gestion et de la planification du Programme. Cependant, étant donné la position avantageuse et privilégiée des anciens gestionnaires du Programme, il convient de tenir compte de leurs préoccupations et de leurs suggestions. Nous chercherons donc à savoir s'il aurait été possible d'élaborer une organisation plus efficace, si d'autres façons de procéder auraient pu produire de meilleurs résultats, et enfin, si des perceptions différentes auraient changé l'issue du programme.

L'organisation du Programme était en quelque sorte réglée à l'avance et le CNRC ne faisait simplement qu'entreprendre des travaux au nom d'un autre ministère soit, dans le cas qui nous intéresse, EMR. Les procédés utilisés et l'ordre de priorité des différents ministères s'imbriquent rarement tout à fait, c'est pourquoi certaines structures de liaison sont établies afin de prévoir les mécanismes nécessaires. Bien des complications rencontrées au niveau de la gestion du Programme semblent avoir été causées par le fait que le plan de gestion générale était imposé sans assurer pour autant des ressources pour répondre aux besoins spéciaux en R et D, particulièrement dans le contexte canadien. De par sa définition, la recherche scientifique porte sur l'incertitude et la découverte. Une bonne gestion peut minimiser les risques et axer le processus de la découverte vers des domaines productifs, mais les résultats escomptés ne peuvent pas être exigés en fonction d'un échéancier bien établi. Le procédé cyclique défini à la figure 12 a été appliqué pour l'approbation du financement du projet. D'après ces auteurs, ce processus était inutilement complexe et beaucoup trop long. Un processus plus simple aurait diminué le temps de réponse du Programme et amélioré l'utilisation des fonds. À certaines occasions, l'approbation tardive du financement a nécessité une compression des travaux afin de dépenser les sommes allouées au cours d'une année financière. Ce n'est pas une façon efficace de faire de la recherche et du développement. Les autres organismes ont mal interprété les fonds dévolus.

Toutes ces difficultés ont été aggravées par le mécanisme d'impartition que le CNRC a été obligé d'adopter. Là encore, le processus a été étiré, de façon à comprendre entre autres l'établissement d'une liste de soumissionnaires, l'émission d'une demande de propositions, l'étude des réponses, ainsi que la négociation et l'approbation des contrats. Les divers paliers d'approbation étaient si nombreux au ministère des Approvisionnements et Services que ce procédé était devenu un vrai cauchemar administratif. Ce processus a frustré bien des entrepreneurs et il était tellement long que dans un cas, il s'est passé 20 mois entre le début du processus et la

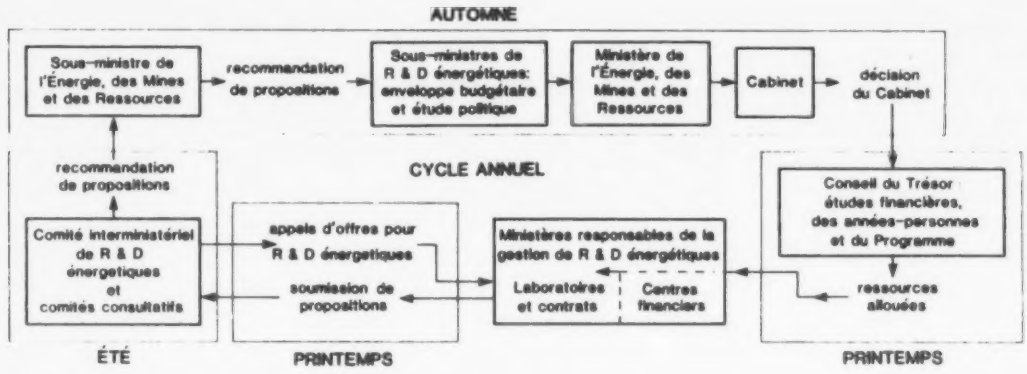


Figure 12. Programme d'approbation pour la R et D fédérale sur l'énergie.

signature du contrat final. Il ne fait aucun doute qu'un système plus dynamique aurait donné de meilleurs résultats et permis de réaliser d'importantes économies.

Contrairement aux fortes réactions négatives entraînées par ces processus, des opinions concernant les perceptions formant le cadre général du Programme sont généralement très bonnes. Tout en reconnaissant l'énormité des problèmes associés au remplacement du pétrole, particulièrement dans le transport, le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources reconnaissait l'importance de certaines techniques de rechange et a donné son appui aux programmes de R et D portant principalement sur ces techniques. Il y avait de fortes pressions des milieux politiques et des proposants pour qu'on mette l'accent sur certaines techniques associées à l'hydrogène. Ces techniques étaient considérées par EMR et le CNRC comme revêtant une importance à plus long terme et en général, on a évité de leur donner une importance disproportionnée dans le cadre du Programme.

12. DÉFIS ET POSSIBILITÉS À VENIR

Les techniques qui font partie du mandat du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie doivent permettre d'équilibrer l'offre et la demande en énergie. L'avenir dépend donc en partie de l'avenir de nos approvisionnements en énergie. Nous ne connaissons aucune pénurie d'énergie au Canada. Notre seul dilemme est d'établir un ordre de priorités pour l'exploitation de ces recherches. Cependant, en ce qui a trait aux techniques d'utilisation des ressources, nous ne pouvons pas faire grand chose pour nous isoler du reste du monde. Ailleurs, les ressources ne sont pas aussi disponibles et certaines situations pourraient nous forcer à agir différemment plus tôt que prévu. Si nous devons ajouter foi à tous les cas d'évolution historique analysés par l'IIASA, nous devons alors accepter que du point de vue de l'énergie, nous arrivons à un moment où il faudra faire la transition des systèmes basés sur les principes chimiques, c.-à-d. la combustion, à ceux basés sur les principes de physique, c.-à-d. le nucléaire, l'électricité solaire, etc. Notre plus grand défi se trouve dans cette transition. Ce n'est qu'au niveau de cette transition que nous apercevons des problèmes importants. Une fois le changement fait, tout redeviendra stable. Nous avons connu une courte période de transition après la crise du pétrole de 1973. Cette expérience n'a pas été encourageante.

Un aspect important de la transition doit être la compatibilité des techniques, p. ex. celle qui permet de combiner des éléments de physique et de chimie pour en faire une discipline appelée électro-chimie. Nous nous désintéressons de cette discipline et de cette technologie à nos dépens. Déjà, certaines tentatives ont été faites en vue d'encourager l'accroissement de l'électrochimie et des techniques électrochimiques au Canada. Les efforts doivent redoubler étant donné que notre capacité électrochimique est très limitée.

Un problème qui n'apparaît pas à première vue provient du fait que nous ne pouvons pas prévoir les techniques de demain. Nos besoins valent évidemment pour un certain point dans l'avenir, cependant notre cadre de référence temporel est le présent. Nous ne pouvons pas prévoir les formes d'utilisation de l'énergie ni les techniques qui seront disponibles à ce moment. Ce que nous savons par contre, c'est que notre entrée dans un autre âge ne sera pas décrite comme étant un grand pas. Ce processus sera plutôt évolutionnaire. Pour l'instant, nous sommes mal équipés pour nous engager dans la voie de cette évolution et puisque ce n'est pas un processus qui entraîne des avantages commerciaux, la responsabilité des actions à prendre incombent surtout au gouvernement.

Ce qui est très encourageant avec les travaux déjà effectués c'est qu'il n'y a rien qui s'oppose à la compatibilité d'aucune forme d'énergie future

(en se servant d'électricité comme intermédiaire) avec toutes les demandes concevables. Il reste beaucoup à faire pour perfectionner les techniques et optimiser l'équipement, mais on peut y arriver.

Tout ce Programme a été amorcé par la crainte d'un arrêt éminent de notre approvisionnement en pétrole, qui pourrait évidemment se répéter à n'importe quel moment. Le Canada sera toujours autosuffisant en matière d'énergie. Il ne fait aucun doute que les approvisionnements en pétrole s'amenuiseront et que nous devront faire face à la répétition des pressions qui ont été exercées au cours des années 1970. Cependant, il existe actuellement des signes très réels indiquant que ces pressions seront très faibles par rapport à la pression qui sera exercée par les préoccupations environnementales. Les changements climatiques associés à l'accumulation de dioxyde de carbone ainsi que la évastation des forêts et des lacs causée par les pluies acides deviendront sans aucun doute des questions prioritaires au cours des années 1990. Tout cela entraînera des changements dans l'exploitation des ressources et dans les techniques d'utilisation des combustibles. Les technologies étudiées en vertu du Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie seront beaucoup plus pertinentes à ce moment.

13. RÉFÉRENCES

1. "Science et technologie pour les besoins énergétiques du Canada", avril 1975.

2. "Le programme énergétique national", Énergie, Mines et Ressources Canada, octobre 1980.

3. "Mise à jour : le Programme énergétique national", Énergie, Mines et Ressources Canada, 1982.

4. "Énergies de remplacement", Rapport du Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole présenté au Parlement du Canada, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Approvisionnements et Services Canada, N° de catalogue XC 2-321/2-01E ISBN 0-660-10912-3, mai 1981.

5. "Un investissement urgent : plan à long terme pour le Conseil national de recherches du Canada", octobre 1980.

6. "Energy Depot Program - Technical Feasibility Study", AEC Res. and Dev. Rept. NYO 9876, vol. 1 et 2, Allison, mai 1962.

7. D.P. Gregory, "A Hydrogen Energy System", rédigé pour l'American Gas Association par l'Institute of Gas Technology, août 1972.

8. "International Journal of Hydrogen Energy", rédigé par T.N. Veziroglu, Pergamon Press, 1976 à aujourd'hui.

9. "Ist World Hydrogen Energy Conference Proceedings", rédigé par T.N. Veziroglu, publié par la School of Continuing Studies, University of Miami, FL. 1976.

10. "Hydrogen Energy System - Proceedings of the 2nd World Hydrogen Energy Conference", rédigé par T.N. Veziroglu et W. Seifritz, Pergamon Press, 1978.

11. "Hydrogen Energy Progress - Proceedings of the 3rd World Hydrogen Energy Conference", rédigé par T.N. Veziroglu, K. Fueki et T. Ohta, Pergamon Press, 1980.

12. "Hydrogen Energy Progress IV - Proceedings of the 4th World Hydrogen Energy Conference", rédigé par T.N. Veziroglu, W.D. VanVorst et J.H. Kelly, Pergamon Press, 1982.

13. "Hydrogen Energy Progress V - Proceedings of the 5th World Hydrogen Energy Conference", rédigé par T.N. Veziroglu et J.B. Taylor, Pergamon Press, 1984.

14. "Hydrogen as a Fuel", National Academy of Sciences, Washington D.C., 1979.

15. "Proceedings of the Annuel Contractors Review Meetings", en vente à l'U.S. National Technical and Information Service.

16. J.G. Melvin, "Remplacement du pétrole par l'électricité" AECL-7067, septembre 1980.

17. O.S. Tatone, "Energy Storage : A Review of Recent Literature", AECL-7410, décembre 1981.

18. W. Hafele, "A Global and Long Range Picture of Energy Developments", Science, 209: 174; 1980.

19. "Assessment of Potential Future markets for the Production of Hydrogen from Water - Consolidated Final Report", Programme AIE de recherche et de développement sur la production de l'hydrogène à partir de l'eau, Tâche III, septembre 1980.

20. F.R. Steward, "Energy Consumption in Canada Since Confederation", Politique énergétique, 6(3): septembre 1978.

21. "Une stratégie énergétique pour le Canada - Résumé", Énergie, Mines et Ressources Canada, 1981.

22. "L'énergie au Canada : offre et demande, 1980-2000", Office national de l'énergie (Canada), 1981.

23. "L'uranium au Canada : évaluation de l'offre et des besoins", Énergie, Mines et Ressources Canada, rapport EP 80-3, septembre 1980.

24. J.B. Taylor, "Hydrogen Energy Prospects in Canada", Int. J. Hydrogen Energy, 1/2: 1984.

25. G. Bélanger, "Electrochemistry in Canada : Status Report", Chemistry in Canada, 29: 1977.

26. E.J. Casey et M.A. Klochko, "Electrochemical Energy Storage Systems, On the Selection of Electrolytes for High Energy Density Storage Batteries", American Chemical Society Symposium Series 90, Chemistry in Energy, 1979.

27. "A Study on the Establishment of an Electrochemical Technology Centre", rédigé par Phillip A. Lapp Limited pour le Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie, CNRC, 1981.

28. "Hydrogen a Challenging Opportunity - Report of the Ontario Hydrogen Energy Task Force", vol. 1 à 8, ministère de l'Énergie de l'Ontario, septembre 1981.

29. "Electrochemical Energy Storage Research Plan", rédigé par Dilworth, Secord, Meagher et associés au nom de l'Association des fabricants d'accumulateurs, pour le programme fédéral de recherche et de développement, avril 1978.

30. "Bulletin de recherche et de développement" Approvisionnements et Services Canada, mensuel.

31. J.E.A. Alderson et J.B. Taylor, "L'hydrogène et le stockage de l'énergie - Programme fédéral R & D de l'énergie - rapport d'avancement 1982", avril 1982.

32. J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy et J.B. Taylor, "L'hydrogène et le stockage de l'énergie - programme fédéral R & D de l'énergie - rapport d'avancement", CNRC 21081 avril 1983. CNRC 23336, avril 1984. CNRC 25523 avril 1985.

33. "Étude de 1983 des activités de recherche et de développement résultant du programme énergétique national du gouvernement du Canada", rédigée pour le BRDE par l'entremise d'Approvisionnements et Services Canada, N° de catalogue 1727-06/1983 F. ISBN 0-602-23966-0.

34. "Documentation sur les options en matière de combustibles liquides", Énergie, Mines et Ressources Canada, rapport EP80-2F, 1980.

35. "Alternative Transportation Fuels for Ontario", ministère de l'Énergie de l'Ontario, février 1981.

36. "Réponse du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources au rapport du Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole de la Chambre des Communes", Centre d'édition du gouvernement du Canada, Approvisionnements et Services Canada, n° de catalogue M-27-41/1982F. ISBN 0-662-12141-4, juillet 1982.

37. "Le rôle de l'hydrogène dans l'économie du Québec", Rapport présenté au Comité québécois de l'hydrogène liquide par J.M. Moffatt et F.W. Eyre du Département de développement technique, Groupe SNC, contrat 4857, décembre 1981.

38. "Alternative Transportation Fuels Utilization Review", ridigé par Middleton Associates & Mueller Associates Inc. pour le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario et le ministère de l'Énergie de l'Ontario, avril 1982.

39. "Electric Vehicles in Ontario", rapport de l'Electric Vehicle Task Force fait pour le ministère de l'Industrie et du Commerce de l'Ontario et le ministèr de l'Énergie de l'Ontario, juillet 1982.

40. J.R. Whitehead & J.B. Taylor, "The International Energy Agency Cooperative Programs on Hydrogen : Past Achievements and Future Potential", Compte rendu de la 5e Conférence mondiale sur l'énergie hydrogène, Pergamon Press VI 63 1984.

41. W. Hafele, "Energy in a Finite World", Rapport de l'Institut international de l'analyse des systèmes appliqués (IIASA), Ballanger Publishing Company, Cambridge, MASS., 1981.

42. R. Whitehead, "Fossil Fuels Indispensable Beyond 2030, IIASA Report", Canadian Petroleum, décembre 1981.

43. "An International R et D Program for Liquid Hydrogen Fueled Aircraft", rédigé par l'Hydrogen in Air Transportation Ad Hoc Executive Group, juillet 1980.

44. "Élaboration d'une stratégie québécoise de R et D sur l'hydrogène comme vecteur d'énergie", rapports sectoriels, IREQ n° 2512, Varennes, Québec, septembre 1981.

45. "Hydrogen Energy in Canada - 1", Numéro spécial de l'International J. Hydrogen Energy V8 N03 1983.

ANNEXE A : MEMBRES DU COMITÉ ASSOCIÉ SUR LES SYSTÈMES DE CONVERSION ET DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ET LES SYSTÈMES À L'HYDROGÈNE

PRÉSIDENT : R.D. Heyding
Department of Chemistry
Queen's University
Kingston (Ontario) K7L 3N6

SECRÉTAIRE : Margaret Buchanan
Bureau du projet de l'énergie solaire
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0R6

MEMBRES : M. Barabas, directeur des recherches
Saskatchewan Power Corporation
2025 Victoria Avenue
Regina (Saskatchewan) S4P 0S1

Jacques E. Desnoyers
Département de chimie
Université de Sherbrooke
Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

H.J. Davis
Département de chimie physique
Centre de recherche Noranda
240, boulevard Hymus
Pointe-Claire (Québec) H9R 1G5

P.J. Dyne, directeur
Bureau de la recherche et du développement énergétiques
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

S.N. Flengas
Department of Metallurgy and Materiels Science
University of Toronto
Toronto (Ontario) M5S 1A1

A.R. Knight, professeur et chef de département
Department of Chemistry and Chemical Engineering
University of Saskatchewan
Saskatoon (Saskatchewan) S7N 0W0

J. Smeltzer
Service des produits chimiques
Gulf Oil du Canada Limitée
800 Bay Street
Toronto (Ontario) M5S 1Y8

J.B. Taylor, coordonnateur de programme
Systèmes de conversion et de stockage de l'énergie et systèmes à l'hydrogène
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0R6

M. Tomlinson
Énergie atomique du Canada Limitée
Établissement de recherches nucléaires
Whiteshell
Pinawa (Manitoba) R0E 1L0

A. K. Vijh
Institut de recherche de l'Hydro-Québec
Case postale 1000
1800, Montée Ste-Julie
Varennes (Québec) J0L 2P0

ANNEXE B: HYDROGÈNE : FUTURE ACTION INTERNATIONALE COOPÉRATIVE

J.B. TAYLOR

Président, Comité exécutif de l'hydrogène
Agence internationale de l'énergie
DÉCEMBRE 1984

INTRODUCTION

De nombreux facteurs influent sur l'établissement des politiques nationales en matière de recherche et de développement énergétiques, notamment l'offre et le coût de l'énergie, le mélange des énergies et les utilisations.

Ceux-ci diffèrent énormément d'un pays à l'autre et il n'est pas surprenant de voir qu'il en résulte d'appréciables différences au niveau des perspectives et des politiques énergétiques nationales. Tout au long de la dernière décennie, les questions d'approvisionnement et d'établissement des prix du pétrole ont eu tendance à unifier les points de vue nationaux. L'une des conséquences utiles a été le Programme coopératif de recherche et de développement des tâches effectués en vertu des divers accords de l'AIE. Un peu à cause de ces travaux et aussi de l'actuelle surabondance de pétrole, nous ne sommes plus en situation de crise. Les perspectives nationales en matière d'énergie ont beaucoup mûri. En ce qui a trait à la communauté de R et D énergétique en particulier, c'est maintenant le temps de jeter un coup d'oeil sur les actions passées et définir les objectifs et les activités à venir.

Cette communauté est composée d'ingénieurs, de scientifiques, d'analystes, de planificateurs, de communicateurs, etc., qui fonctionnent tous de différentes façons et dont les nombreux buts sont bien différents. On peut ainsi identifier ceux qui sont motivés par la curiosité scientifique, par exemple, les défenseurs d'une doctrine et les enthousiastes, les futuristes, etc. Étant donné qu'il y a tellement de points de vue, il faut absolument qu'il y ait une voie commune, du moins en ce qui a trait aux messages présentés aux gouvernements. L'ensemble des personnes composant le comité exécutif de l'hydrogène de l'AIE et leurs conseillers sont en effet dans une bonne position pour offrir un point de vue bien informé et bien orienté. Le présent document présente un condensé de toutes les discussions qui ont eu cours depuis un an et qui ont mis en cause les personnes dont le nom est en annexe. Il ne doit cependant pas être considéré comme un document endossé par les personnes mentionnées ni leur gouvernement national respectif. Son autorité est assurée par la sagesse et l'expérience collective de ceux qui ont contribué aux discussions et échanges nombreux qui ont précédé sa rédaction.

LE RÔLE FUTUR DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène est déjà beaucoup utilisé comme produit industriel. Dans l'industrie, l'hydrogène représente de 1 à 5 % de l'utilisation totale d'énergie au pays. Ce pourcentage représente une quantité considérable dont peu de gens sont au courant étant donné que l'hydrogène est principalement utilisé en vase clos dans l'industrie pétrolière ou comme intermédiaire dans la production de méthanol et d'ammoniac. Nous ne savons pas encore à quel point ces utilisations augmenteront. Il ne fait aucun doute que la production d'engrais à base d'ammoniac augmentera. De plus, la demande en hydrogène dans l'industrie des combustibles liquides synthétiques est bien appréciée mais l'avenir de cette industrie est difficile à prévoir. La question importante pour la communauté de R et D pour l'hydrogène est de connaître la quantité d'hydrogène additionnel provenant des sources traditionnelles utilisant les techniques actuelles et la quantité nécessitant la mise au point de sources non fossiles et de nouvelles technologies connexes. Cette question reste pour le moment sans réponse, mais bien des gens ont proposé de nouvelles utilisations de l'hydrogène qui entraîneraient une augmentation des besoins futurs d'un ordre de grandeur.

On a beaucoup écrit sur le rôle possible de l'hydrogène comme vecteur énergétique artificiel. Ce concept donne à l'hydrogène un rôle complémentaire à celui de l'électricité. Contrairement à l'électricité, l'hydrogène est un vrai combustible qui peut être stocké et transporté à l'aide de techniques bien établies. Il peut être brûlé à l'air libre et peut donc être utilisé comme carburant dans tous les moteurs thermiques pour produire un travail mécanique. Aucun obstacle fondamental ne se pose à la création d'un système énergétique basé sur l'hydrogène qui pourrait remplacer notre système actuel basé sur les hydrocarbures. L'hydrogène est un produit manufacturé tout comme les combustibles liquides à base d'hydrocarbures tels que l'essence. Les coûts relatifs sont principalement régis par les coûts des sources primaires. L'économie actuelle favorise généralement les hydrocarbures. Les principales exceptions sont les ressources hydroélectriques appliquées à la production d'hydrogène par électrolyse. Il ne faut cependant pas oublier que le stockage et le transport des hydrocarbures liquides est beaucoup plus simple que celui de l'hydrogène, et que par conséquent, les coûts défavorisent le choix de l'hydrogène.

Nombreux sont ceux qui ont soutenu que le coût du système **total** est le seul critère approprié et que si nous devons inclure des considérations d'ordre environnemental, l'hydrogène s'en trouve favorisé. Les répercussions environnementales bénignes de l'hydrogène sont très bien établies. Il faut évidemment que la principale source soit elle-même sans danger ou sous contrôle dans une installation centrale. Cette condition peut être remplie beaucoup plus facilement que dans le cas d'une conversion primaire

décentralisée, comme pour le système actuel basé sur les hydrocarbures. Un système énergétique basé sur l'hydrogène présente donc certaines caractéristiques favorables pour la solution des questions environnementales.

Il ne fait aucun doute que les possibilités qu'offre l'hydrogène ne pourront être réalisées entièrement que conjointement avec les nouveaux développements et les nouveaux systèmes énergétiques. La conversion des systèmes actuels de toute façon en vue d'incorporer l'hydrogène en tant que vecteur énergétique peut se faire sur une échelle limitée à certains endroits, mais elle ne pourra jamais être très décentralisée. Les **nouveaux développements** énergétiques et la mise au point de **nouveaux systèmes** énergétiques constitueront certainement un facteur important dans l'évolution du système énergétique à base d'hydrogène.

Dans un proche avenir, les nouveaux développements énergétiques pouvant influer sur celui de l'hydrogène sont principalement les potentiels hydrauliques en Afrique, en Amérique du sud, au Groenland et au Canada. De nombreux ouvrages hydrauliques nouveaux sont en cours de construction ou à l'état de projet dans ces régions. On s'attend à ce que des systèmes énergétiques entièrement nouveaux émergent à partir de sources renouvelables (énergie photovoltaïque, énergie éolienne, marée motrice et fusion nucléaire). Dans tous ces cas, l'hydrogène pourrait jouer un rôle dans la livraison de l'énergie, c.-à-d. le transport et le stockage de l'énergie. En fait, si c'est le côté livraison de l'énergie qui est important dans l'élaboration de ces systèmes, l'hydrogène pourra y contribuer. Tous les exemples donnés ont des caractéristiques communes (éloignement, grande envergure, fonctionnement par intermittence, etc.), ce qui laisse supposer que l'hydrogène pourrait jouer un rôle critique dans leur développement.

PROBLÈMES ACTUELS

L'élaboration d'une stratégie future pour la recherche et le développement des systèmes à l'hydrogène est limitée par les réalités suivantes :

1. Il y a actuellement peu d'incitants favorisant le remplacement des combustibles fossiles (critères d'offre et d'établissement des prix).

2. Les marchés existants pour l'hydrogène ont un potentiel de croissance limité et l'industrie déjà établie fournissant ces marchés aura tendance à conserver les sources et les techniques actuelles pour la production d'hydrogène.

3. Les nouveaux marchés pour l'hydrogène ne sont pas encore développés, les technologies d'utilisation ne sont pas encore à point et on connaît très peu les possibilités commerciales de l'hydrogène.

4. La communauté de recherche et de développement des systèmes à l'hydrogène, les responsables des politiques, les utilisateurs possibles de l'hydrogène et la communauté industrielle ne communiquent pas efficacement.

Si nous ne considérons que la question des incitants du premier énoncé, il serait vraisemblable que le gouvernement décide de reporter la recherche et le développement pour toutes les énergies de remplacement, y compris l'hydrogène. Une telle décision serait cependant malavisée étant donné que même si nous ne tenons pas compte de l'épuisement inévitable des combustibles fossiles, il existe de nombreux facteurs incontrôlables qui peuvent influer sur l'approvisionnement à court terme de ces combustibles. Les questions environnementales, notamment le problème du dioxyde de carbone, pourraient en outre, d'ici la fin du siècle, devenir un incitant dominant favorisant le remplacement des combustibles fossiles.

De plus, il a été reconnu que les nouveaux incitants en faveur du remplacement des combustibles fossiles pourraient provenir de la supériorité technique d'un combustible de remplacement. Ces progrès techniques ont toujours été les forces majeures entraînant le changement d'un type de combustible pour un autre. L'épuisement ou le prix ont joué des rôles moins importants au cours de la période initiale de changement. L'hydrogène assure une supériorité technique réelle par rapport aux combustibles fossiles. Ce fait est peut-être le mieux illustré par l'utilisation prévue de l'hydrogène comme carburant d'aviation. Dans cette application, la densité énergétique gravimétrique de l'hydrogène est très favorable, ce qui permet donc de diminuer les dimensions de l'appareil tout en accroissant son rayon d'action et son rendement. On réalise des gains d'efficacité avec tous les moteurs alimentés à l'hydrogène, mais ces gains sont probablement moindres que ceux dus aux efficacités substantielles de conversion déjà démontrées par les piles à combustible. La commercialisation des piles à combustible est maintenant imminente et tous les développements actuels font appel à l'hydrogène comme gaz combustible bien qu'il puisse souvent être dérivé de façon interne d'un "vecteur" comme le métane (gaz naturel), le naphte ou le méthanol.

Ainsi, malgré l'absence apparente d'incitants **actuels** en vue du remplacement des combustibles fossiles, il existe toujours un besoin urgent d'examiner les options pratiques futures qui finiront bien par être prises en considération lorsque les conditions changeront. Faute d'une importante réduction des approvisionnements mondiaux en pétrole, un système énergétique basé sur l'hydrogène doit être considéré comme un choix possible à long terme et les raisons ainsi que le facteur d'entraînement de tout nouveau développement énergétique ont déjà été examinés dans le présent rapport. Il semble cependant exister certaines possibilités d'application précoces

limitées de techniques de l'hydrogène. Certaines indications laissent entrevoir des possibilités commerciales pour l'expansion des applications actuelles de l'hydrogène. Tout porte à croire que ces développements ne pourront se réaliser sans un accord concerté du gouvernement et du secteur privé. En fait, la révision d'un système énergétique est une tâche énorme qui ne peut certainement pas être entreprise par un organisme privé seul ni par un seul pays. C'est fondamentalement une tâche réservée aux gouvernements, et qui nécessite une coopération internationale à long terme.

Cette coopération a commencé avec l'Accord sur l'hydrogène de l'AIE. À moins de maintenir le rythme actuel, il est peu vraisemblable qu'un système énergétique viable de remplacement soit prêt lorsque la nécessité s'en fera sentir.

Le comité exécutif de l'AEI répond aux questions qui ont été identifiées en redéfinissant les besoins en R et D et en remettant l'accent sur les modalités selon lesquelles la coopération internationale pourrait contribuer à maintenir et àa améliorer l'option hydrogène.

RÉPONSE PROPOSÉE

Afin de formuler une réponse appropriée à la situation telle qu'elle est définie, il est nécessaire de comprendre le rôle de l'action coopérative, et principalement celui du programme coopératif de R et D.

Par définition, le résultat de tout programme de R et D doit comprendre "l'invention" et "les données" (voir figure B-1). C'est la combinaison de ces deux éléments qui donne la "capacité". Dans le cas des programmes entrepris dans le cadre des accords de l'AIE, cette "capacité" devrait être répartie uniformément entre les divers participants, constituant ainsi la principale motivation en vue d'une action coopérative. Un autre résultat possible peut provenir de ces activités de R et D, généralement à la suite de l'essai d'une invention ou de l'analyse des données.

Ce résultat est défini dans la figure par le terme "information". Il faut reconnaître que les résultats de ce second procédé peuvent, comme c'est souvent le cas, provenir d'autres sources que celles indiquées dans la figure. En fait, c'est l'accumulation des connaissances à la suite d'un programme de R et D qui permet l'assimilation efficace de données additionnelles afin d'optimiser la valeur de "l'information" générée. Cette information est importante pour les responsables des politiques, les planificateurs, les utilisateurs possibles et l'industrie.

Outre la "capacité" ainsi établie, il peut alors y avoir un "engagement" entraînant en fin de compte une "application de la technique". La

figure B-1 définit les trois principales facettes de ce procédé comme étant "l'expérimentation", suivie de la "coopération" et finalement de "l'application".

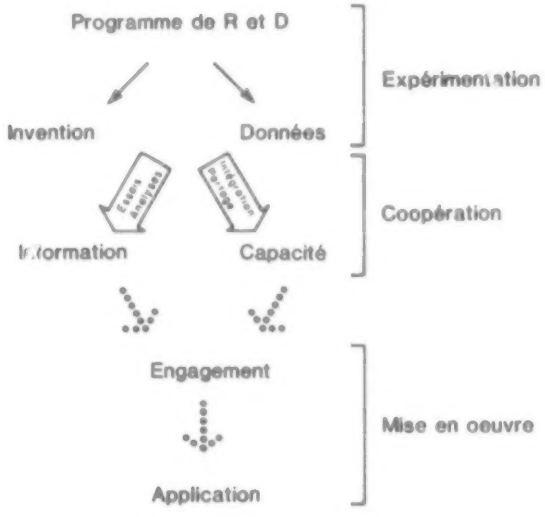
On peut donc tirer les conclusions suivantes :

1. On peut tirer de réels profits de toute action coopérative qui combine, partage, essaie et analyse les résultats des programmes de R et D.

2. Pour traduire ces avantages en applications tangibles, il est nécessaire que les informations sortent de la communauté de R et D pour atteindre les responsables des politiques, les utilisateurs possibles et l'industrie. C'est généralement le lien le plus faible du procédé, mais la communauté de R et D doit assurer le succès de cette étape.

3. L'application finale de la technique en question nécessite un engagement de la part des gouvernements ou de l'industrie. Ce dernier point est un choix individuel qui est hors de la portée des accords coopératifs actuels.

En ce qui a trait principalement au programme de l'hydrogène de l'AIE, il convient de se demander si nous pouvons tirer profit d'une nouvelle coopération ou si l'étape de la mise en oeuvre a été effectuée. Dans certains



ÉVOLUTION NORMALE, DE LA R ET D À L'APPLICATION.

Figure B-1. Évolution normale, de la R et D à l'application.

domaines, nous approchons de cette dernière étape. Il existe une capacité réelle en ce qui a trait à la production d'hydrogène à partir de sources non fossiles - technique déjà bien au point comme produit commercial dans le cas de l'électrolyse, mais moins au point dans le cas de la thermochimie. Cependant, le processus d'essai et d'analyse qui rassemblera les diverses communautés est encore incomplet.

Dans d'autres domaines, on en est encore à la production des données et des inventions et il n'existe pas de "capacité". Ainsi, malgré tout ce qui a pu être écrit par les défenseurs zélés de l'énergie hydrogène, nous avons affaire à une technique qui n'est pas encore au point. Les tentatives de définition et de quantification de cette technique reposaient principalement sur des données rudimentaires. Les indications provenant de ces travaux sont encourageants, mais il serait cependant prudent d'adopter, pour l'instant, le point de vue selon lequel l'hydrogène n'est pas un "remède miracle" pour tous les problèmes énergétiques. On doit absolument le considérer comme présentant certaines possibilités pour la création éventuelle d'un meilleur système énergétique. Ce n'est pas actuellement faisable dans quelque mesure que ce soit pour des raisons économiques et techniques. C'est donc pour nous, ainsi que pour les générations qui suivront, un défi réel. Pour le moment, notre seule réponse à ce défi est un programme bien planifié de recherche et de développement prévoyant un rôle essentiel pour la coopération internationale.

BESOINS EN RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

La connaissance des problèmes actuels et la formulation des réponses générales permettent de reconnaître certaines actions précises qui pourraient être efficaces de diverses façons :

A. Avancement de la capacité collective des membres de l'AIE.

B. Maximisation des bénéfices tirés du programme par rapport à la limitation du financement.

C. Fourniture de services d'information détaillée et à jour au gouvernement et au public en général.

Ces actions comprennent les activités suivantes du programme coopératif de R et D, sans s'y limiter. Elles représentent soit de nouvelles activités (comme en 2 et 3) ou des changements majeurs de travaux existants entrepris dans le cadre de l'Accord de l'hydrogène de l'AIE (comme en 1).

1. **Identification de nouveaux buts techniques et établissement de nouveaux objectifs de R et D pour assurer que la portée du programme correspond entièrement à la réalité des exigences possibles.**

La portée du programme peut inclure une gamme d'activités comme l'acquisition de données, le raffinement de techniques et la mise au point de l'équipement. Cependant, en tenant compte du moment prévu pour l'utilisation possible à grande envergure de l'énergie hydrogène, il faut souligner que la technique actuelle ne peut jouer qu'un très petit rôle dans ce processus. Ce sont plutôt les techniques qui restent à mettre au point qui auront probablement la plus grande importance. Ces futures techniques seront le fruit des inventions actuelles. Il est donc nécessaire que le contenu du programme reflète cette réalité et reconnaisse le rôle extrêmement important de la recherche scientifique. La valeur de cette recherche dans le domaine de la photo-électrolyse, par exemple, est évident, mais ce qui l'est probablement moins, c'est qu'un effort de recherche fondamental est également valable pour tous les autres aspects de l'énergie hydrogène.

2. Évaluation et essais des techniques et de l'équipement existants

Les techniques nouvellement mises au point qui sont considérées comme possiblement viables doivent être soumises à une évaluation et à un essai détaillés dans le but de produire une information commune qui fait actuellement défaut. Il y a un besoin urgent d'une telle banque de données qui pourrait servir non seulement à connaître l'état d'avancement de cette technique en cas de besoin accéléré, mais qui aurait également une valeur considérable pour appuyer les premières applications limitées des techniques de l'hydrogène. Les bénéfices ne seraient pas seulement un encouragement donné à la communauté de R et D, mais comprendraient également la valeur de "l'information" (telle que définie dans la figure B-1) pour ceux qui planifient la recherche et le développement, prennent des décisions en matière de politique énergétique ou prennent des engagements financiers publics et privés.

3. Identifier les premières possibilités des applications de l'hydrogène.

Cela peut se faire à l'aide d'une évaluation technique et économique détaillée faisant appel à des données et à des procédés communs, mettant en cause la communauté de R et D, les gouvernements, les utilisateurs possibles et l'industrie. Ce mécanisme devrait fournir un cadre au processus permanent de réitération et de raffinement des techniques. Le fruit de cette activité serait la normalisation des processus de manipulation des résultats des programmes d'essais et d'évaluation de l'article 2. Elle permettrait également de mettre l'accent sur un échéancier plus rapide pour l'application de ces techniques et attirerait ainsi l'attention sur leurs possibilités commerciales.

Il faut reconnaître que l'identification des possibilités des diverses applications de l'hydrogène peut varier d'un pays à l'autre, selon des

facteurs extérieurs à la technique en question. Il est possible d'établir une banque de données techniques communes ainsi qu'une méthodologie et des procédés pour les évaluations techno-économiques; cependant, la mise en oeuvre de cette banque de données et de cette méthodologie est laissée à chaque participant. Les divers critères de l'évaluation de la viabilité d'une application donnée seront régis par les différences qui existent dans les bases de ressources internes de chaque pays, leur façon d'utiliser l'énergie, leurs bases commerciales et industrielles, la complexité de leurs structures énergétiques, etc.

ANNEXE C : LISTE DES RAPPORTS

Voici une liste des rapports des travaux faits à contrat dans le cadre du Programme de l'hydrogène et stockage de l'énergie. Les entrepreneurs sont énumérés par ordre alphabétique et leurs rapports figurent dans l'ordre chronologique. Cette énumération est suivie d'une liste des publications rédigées par le personnel du Programme et des rapports finals en retard au moment de la rédaction du présent rapport.

Acres Consulting Services Ltd.

"Analysis of Closed Cycle Reversible Chemical Systems for Canadian Thermal Applications", rapport final, mai 1980.
- Volume I - Texte principal
- Volume II- Annexes A à D.

"Canadian Chemical Heat Pump Application for Space Heating", rapport final, février 1982.

Atlantic Industrial Research Institute

"Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction", rapport de l'AIE, février 1980.

"A Continuing Study of Electrically Conducting Ceramics", rapport final, avril 1979.

J. Wojtowicz, G. Murphy, K.M. Castelliz, W. Manuel, M. Rockwell et H.W. King, "The Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Metal Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction", rapport de l'EIA, avril 1981.

"The Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Metal Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction", juin 1982.

"Electrocatalysts for Oxygen Evolution", Phase IV - rapport final, août 1983.

G. Murphy, W. Manuel, K.M. Castelliz et H.W. King, "Electrocatalysts for Oxygen Evolution", Phase V - rapport final, novembre 1984.

Ballard Technologies Corp.

A.E. Steck, "Development and Characterization of Aromatic Ionomer Membranes", atelier du Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

B.C. Hydro and Power Authority

"National Fuel Cell Test Facility - Planning Phase", rapport final, septembre 1982.

Blue Mountain Pottery Ltd.

R. Miller, "High Temperature Battery Separator Development", Phase I - rapport final, juin 1983.

R. Miller, "High Temperature Battery Separator Development", Phase II - rapport final, novembre 1984.

Canatom

"Assessment of Hydrogen Bulk Storage in Canada" - Phase I, rapport, août 1983.

K.M. Kalyanam et A.R. Lyle, "Hydrogen Bulk Storage, Phase I - rapport final, août 1983.

K.M. Kalyanam et A.R. Lyle, "Hydrogen Bulk Storage, Phase II - rapport final, juillet 1984.

"Materials for Gaseous Hydrogen Containment", rapport final, mars 1985.

CANMET/EMR

S.M. Ahmef, "The Canadian Contribution to the IEA Work on Hydrogen Production by Photoelectrolysis of Water". Hydrogen Energy Progress V: 1013-1026; 1984.

Centre de recherche Noranda

C.T. Bowen, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Separators and Electrocatalysts for the Electrolytic Production of Hydrogen", rapport de l'AIE, septembre 1979.

C.T. Bowen, B.F. Henshaw, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Testing of Separators and Electrocatalysts for the Electrolyser Cells for the Production of Hydrogen", rappport final, rapport de l'AIE, juin 1980.

C.T. Bowen, B.F. Henshaw, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Industrially-Oriented Evaluation of Electrosyser Materials", atelier de l'Agence internationale de l'énergie sur la production d'hydrogène par électrolyse, City University, London, 27-29 mai 1981.

R.L. LeRoy, "Levelized Hydrogen Costs", atelier de l'Agence internationale de l'énergie sur la production d'hydrogène par électrolyse, City University, London, 27-29 mai 1981.

C.T. Bowen, B.F. Henshaw, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Separator and Electrocatalyst Material for Industrial Water Electrolysis", atelier de l'Agence internationale de l'énergie sur l'électrolyse alcaline, Passadena, juin 1981.

C.T. Bowen, B.F. Henshow, R.L. LeRoy, R. Renaud et R. Lachance, "Testing of Separators and Electrocatalysts for the Electrolyser Cells for the Production of Hydrogen", rapport final, rapport de l'AIE, juin 1983.

C.T. Bowen, H.J. Davies, B.F. Henshaw, R. Lachance, R.L. LeRoy et R. Renaud, "Industrially-Oriented Evaluation of Electrolyser Materials: Current Results, and Fabrication of a 3kA Plate & Frame Test Cell", atelier de l'Agence international de l'énergie sur l'électrolyse alcaline, ISPRA, Italie, mai/juin 1983.

C.T. Bowen, D.G. Gauthier, M.B.I. Janjua, R. Lachance et R.L. LeRoy, "Testing of Separators and Electrocatalysts for the Electrolyser Cells for the Production of Hydrogen", rapport final, juin 1984.

C.T. Bowen, D.G. Gauthier, M.B.I. Janjua, R. Lachance et R.L. LeRoy, "Testing of Separators and Electrocatalysts for the Electrolyser Cells for the Production of Hydrogen", rapport final, septembre 1985.

H.J. Davis et G. Naherne, "Optimization of a Non-Aqueous Battery System for Low Temperature Applications", rapport final, mars 1979.

H.J. Davis, A.A. Condy et J. Cromwell, "Electrical Energy Storage Using the Zinc-Lead Oxide Electrochemical Couple", rapport final, mars 1979.

G.J. Naherne et H.J. Davis, "Electronical Energy Storage Using the Zinc - Lead Oxide Electrochemical Couple", rapport final, mars 1982.

G.J. Naherne, A.A. Condy et H.J. Davis, "Electrical Energy Storage Using the Zinc-Lead Oxide Electrochemical Couple", Phase 1C, rapport final, mars 1982.

C.T. Bowen et H.J. Davis, "Electrical Energy Storage Using the Zinc-Lead Oxide Electrochemical Couple", Phase ID, rapport final, mars 1983.

Chemetics International

R.E. Knowlton, "Hydrogen Safety, an Assessment of the Safety Problems Associated with the Use of Hydrogen as a Ground Transportation Fuel", mars 1983.

R.E. Knowlton et H.G. Wright, "Ammonia Vehicle Fuel - Rapport final", avril 1984.

R.E. Knowlton, "New Uses for Hydrogen in Canadian Energy Systems", atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

R.E. Knowlton, "New Uses for Hydrogen in Canadian Energy Systems", rapport final, juillet 1985.

Rapports annexés des sous-contractants :
Costain Petrocarbon Limited, documentation à l'appui de ce qui précède, février 1985.

Highquest Engineering Inc., "Thermal Energy Conversion Cycles Exploiting Unique Features of Hydrogen", mars 1985.

B.C. Hydro, "The Hydrogen Energy Park Concept", mars 1985.

B.C. Hydro, "The Hydrogen Energy Economy Bamfield B.C.", mars 1985.

Jarvis Clark Company, "Potential New Uses of Hydrogen in Off-Road and Mining Equipment", juillet 1985.

Corporation de développement du transport urbain, documentation à l'appui de ce qui précède.

Canocean, "Marine Uses of Hydrogen", janvier 1985.

Escher Technology Associates, "Hydrogen as an Aircraft Fuel", novembre 1984.

Institute for Hydrogen Systems, "The Synerjet Engine: Key to Spaceliner", mai 1984.

Chromalox Canada Inc.

D. Crump, M. Zamin et B.G. Sellars, "Heat Storage Systems for Domestic, Industrial and Solar Energy Applications - Phase I - Research into Identification, Selection and Development of an Efficient Heat Storage Medium", mai 1979.

"Heat Storage Systems for Domestic, Industrial and Solar Energy Application - Phase II - Design and Evaluation of Model Heat Storage Systems", mai 1980.

"Heat Storage Systems for Domestic, Industrial and Solar Energy Applications - Phase III - Development of Prototype Heat Storage Units", rapport final, mai 1981.

"Heat Storage Systems for Domestic, Industrial and Solar Energy Applications - Phase IV - Test and Evaluation of Prototype Heat Storage Units", mai 1982.

B. Chan, "Electrical Heat Storage for Residential Application, Phase V, - Final Report", avril 1983.

"Electrical Heat Storage for Residential Application Phase VI", mai 1985.

Comité de sûreté de l'hydrogène

"Hydrogen Safety Committee Annual Report 1984", mars 1985.

Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick

"Theoretical and Experimental Investigation into the Repetitive Electrodeposition of Lithium and/or Sodium in Secondary Batteries", mars 1980.

"Theoretical and Experimental Investigation into the Repetitive Electrodeposition of Lithium and/or Sodium in Secondary Batteries", rapport final, mars 1981.

Corporation de développement des transports urbains

D. Ferguson, N.V. Patel et J.H. Parker, "Development of Rotors for Energy Storage Using Composite Materials", phase I, septembre 1979.

Davis Engineering Limited

"Analysis of Sub-systems R et D Requirements for Future Non-hydrocarbon Systems for Vehicles - Executive Summary", mars 1985.

Volume 1, Aperçu du projet
Volume II, Scénarios pour une application aux véhicules de systèmes ne fonctionnant pas aux hydrocarbures.

Volume III, Coûts du cycle de vie de systèmes ne fonctionnant pas aux hydrocarbures.
Volume V, Méthode d'affectation des ressources.
Volume VI, Plan de mise en oeuvre d'un volant d'inertie.

Daychem Laboratories

F.W. Harris et R.K. Gupta, "Preparation and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport de l'AIE, septembre 1981.

F.W. Harris et R.K. Gupta, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production" - Phase II, rapport final, rapport de l'AIE, mai 1983.

F.W. Harris et R. Gupta, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport final, septembre 1984.

F. Harris, H. Yeager et A. Eisenberg "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport final 1984.

F.W. Harris et R.K. Gupta, "Synthesis of Aromatic Ionomers for Membrane Materials in Advanced Alkaline Electrolysers", présentation à l'atelier du Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

DSMA Acton Ltd.

"National Fuel Cell Test Facility - Planning Phase", août 1982.

Ecoplastics Limited

R.S. Li et M. Heskins, "Preparation of Hydrophilic Separators for Alkaline Water Electrolysers", étude, 1981.

"Preparation and Testing of Modified Porous Polysulfone Membranes for Alkaline Water Electrolyser", rapport provisoire, mars 1982.

"Porous Polymer Separators for Alkaline Water Electrolysis", raport final, avril 1983.

Electrofuel Manufacturing Company

"Molten Salt Secondary Battery Fabrication" - Phases I et II, rapport intérimaire, 1983.

W.A. McCurdy, "Molten Salt Cell Evaluation", rapport annuel, juin 1985.

Energy Research Corporation

E. Bilgen, "Thermochemical Hydrogen Producing Processes", novembre 1979.

E. Bilgen, "Procedure for Assessment of a Thermochemical Water Decomposition Process", décembre 1979.

E. Bilgen, "Critical Review of Large Scale Thermochemical Hydrogen Production Processes", rapport final, janvier 1980.

E. Bilgen, "Interfacing Concentrated Solar Radiation and High Temperature Hydrogen Production Processes", mars 1981.

E. Bilgen, "Compendium of Thermochemical Hydrogen Producing Processes", mars 1981.

"Compendium of Thermochemical Hydrogen Producing Processes", mise à jour, mars 1983.

"Solar Hydrogen Production Using the General Atomic Sulfer-Iodine Thermochemical Proces", mars 1983.

C. Bilgen, "The Modified Cristina Process for Sulfuric Acid Decomposition - Final Report", mars 1984.

C. Bilgen, "The Modified Cristina Process for Sulfuric Acid Decomposition - Final Report", mars 1985.

Engelhard Industries of Canada Limited

A. Stawsky et al., "On Board Hydrogen Generation from Liquid Carriers - Final Report", février 1984.

Gould Manufacturing of Canada Ltd.

R. Gopal et K.V.N. Rao, "The Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Metal Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction", rapport de l'AIE, décembre 1980.

R. Swaminathan et K.V.N. Rao, "The Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Metal Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction" - Phase II, rapport de l'AIE, décembre 1981.

R. Swaminathan et K.V.N. Rao, "The Selection, Preparation and Characterization of Non-Noble Metal Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction in Alkaline Solutions", présenté par R. Swaminathan lors de la réunion technique de l'annexe IV de l'AIE, 9 au 11 juin 1982, Pasadena, Californie.

R. Swaminathan et K.V.N. Rao, "Non-Noble Metal Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction" Phase III, janvier 1983.

Hydrogen Industries Council

R.D. Champagne, D.R. Hay, P. Hoffman, R.L. LeRoy, C. Salama et J.B. Taylor, "Transitions to Hydrogen", Hydrogen Energy Progress V: 11-20; 1984.

Institut de Recherche de l'Hydro-Québec

M. Gauthier, F. Morin, R. Bellemarre, G. Vassort, et A. Bélanger, "Recherche et développement sur les accumulateurs LiAl-FeS", rapport final, juin 1979.

M. Gauthier, A. Bélanger et R. Bellemarre, "Lithium Rechargability in a Nonaqueous Medium", juillet 1979.

M. Gauthier, F. Morin et R. Bellemarre, "An Electrochemical Study of Li-Al/FeS_x Cells and Construction of a Prototype", rapport final, 1980.

M. Gauthier, F. Morin, G. Vassort, N. Chrétien, R. Bellemarre, A. Bélanger, T. DiVinceuzo et M. Robitaille, "Recherche et développement des accumulateurs à sel fondus LiAl-FeS", rapport final, février 1981.

G. Vassort, M. Gauthier, D. Fauteux et R. Bellemarre, "Recherche et développement sur les accumulateurs à sels fondus", rapport final, avril 1983.

Institute for Hydrogen Systems

Y. Rotenberg, F. Porretta et H.M. Edwards, "Experimental Investigation of the Effects of Vacuum Loss on the Performance of a Hydrogen Storage Tank", atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

IREQ/CRDO

W.A. McCurdy, "Molten Salt Battery Testing LiAl/LiCl - KCl/FeS", rapport annuel, 1980.

W.A. McCurdy, "Molten Salt Battery Teseting LiAl/LiCl - KCl/FeS", rapport annuel (1981), contrat de l'IREQ/CRDO (avril 1982).

G. Beaupré, "Rapport de stage T-2 IREQ", Université de Sherbrooke, Coop, avril 1983.

G. Beaupré, "Rapport de stage T-3 IREQ", Université de Sherbrooke, Coop, décembre 1983.

W.A. McCurdy, "Molten Salt Cell Evaluation", rapport annuel (1983) pour le CNRC/CRDO, mai 1983.

W.A. McCurdy, "Molten Salt Cell Evaluation" rapport annuel, 1984, avril 1984.

Kilborn Kellogg Rust

"Feasibility Study of a MicroAmmonia Plant for Energy Storage in Remote Locations - Interim Report", mars 1985.

Manitoba Research Council

R. Shand, W. Thomas, G. Reese et C. Kristiansen, "Experimental Development of an Ammonia Fueled Engine - Final Report", mai 1985.

R. Shand et W. Thomas, "Experimental Development of Ammonia Fueled Engine", atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

Ontario Research Foundation

N. Middlemiss "Lithium Ionic Conductors", rapport final, décembre 1981.

B.G. Sellars, K. Yan, J. Lo et R. Dwivedi, "Experimental Evaluation of Hydrogen Storage in Glass Microballoons", phase I, juin 1983.

B.G. Sellars, J. Lo, K. Yan et S. Johar, "Experimental Evaluation of Hydrogen Storage in Glass Microballoons", phase II, septembre 1984.

B.G. Sellars, K. Yan et J. Lo, "Hollow Microcapsules for Hydrogen Technology", présentation à l'atelier technique du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE à Berne en Suisse, juin 1985.

Phillip A. Lapp Limited

"A Study on the Establishment of an Electrochemical Technology Centre", Phase I, 1981.

Pratt & Whittney Canada Inc.

F. Shum et P. Sampath, "Hydrogen Combustion Research - Final Report", avril 1984.

Raylo Chemicals Limited

R. Yukov et S. Twa, "Literature Survey of Polymers with Potential Utility for the Manufacture of Separators", rapport final, rapport de l'AIE, octobre 1980.

R. Yukov et S. Twa, "Selection, Preparation and Characterization of Separator Materials", rapport final, rapport de l'AIE, juillet 1981.

R. Yukov et S. Twa, "Organic Polymers of Potential Utility for the Manufacture of Separators", étude de la documentation, rapport de l'AIE, mai 1981.

R. Yukov, J.F. Prescott et S. Twa, "Selection, Preparation and Characterization of Separator Materials", rapport final, mars 1982.

SJT Consultants Limited

S. Townsend, "CANHO MHD Energy Storage and Conversion System, Stage II", rapport final, août 1979.

Université Carleton, Département de Chemie

M.D. Guiver, "The Preparation of Bisphenols Bearing Carboxylate Groups for the Synthesis of Polysulfone Ionomers I", rapport 1981-1982, 1982.

M.D. Guiver et J.W. ApSimon, "The Preparation of Bisphenols Bearing Carboxylate Groups for the Synthesis of Polysulfone Ionomers II", rapport 1982/1983, 1983.

M.D. Guiver et J.W. ApSimon, "The Preparation of Carboxylate Group Containing Polysulfore Ionomers", rapport final 1983/1984, mars 1984.

M.D. Guiver et J.W. ApSimon, "The Development of Polysulfone Ionomers", rapport final 1984-1985, 1985.

Université de Calgary

H.L. Yeager, "Characterization of Ion Exchange Membrane Materials", juillet 1980.

H.L. Yeager et A.E. Steck, "Preparation, Characterization et Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport de l'AIE, novembre 1983.

H.L. Yeager et A. Steck, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomers for Hydrogen Production", Phase II, rapport final, rapport de l'AIE, mars 1983.

Université de Toronto

C.A. Ward, "Study of Fuel Cells and Analysis of Options for Their Development in Canada", phase I, rapport final, avril 1979.

C.A. Ward, "Position of Bubble Formation During the Electrolysis Process", raport de l'AIE, mars 1980.

D.S. Scott, "Study of Fuel Cells and Analysis of Options for Their Development in Canada", phase II, rapport final, juillet 1980.

J.S. Wallace, "Direct Injection of H_2-Fueled Diesel Engine Tests", atelier du Groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

Université d'Ottawa, Département de génie mécanique

R.C. Flanagan, M.B. Munro, A. Miyase et J. Wong, "Evaluation of and Program Recommendations for Anistropic Material Flywheels - Road Vehicle Applications", rapport de contrat, février 1981.

J. Wong, R.C. Flanagan, M.B. Munro et A. Miyase, "One kW-Hr. Fibre Composite Flywheel Design and Analysis", rapport de contrat, octobre 1981.

R.C. Flanagan, P. Miller et al., "Design and Development of High-Speed Spin-Test Facility and Rotor Dynamic Testing", rapport de contrat, janvier 1983.

R.C. Flanagan, M.B. Munro, J. Wong et A. Miyase, "Rotor design Assessment and R et D Program Definition", rapport de contrat, janvier 1983.

R.C. Flanagan, J. Wong, M.B. Munro et A. Miyase, "High Energy Density Fibre Composite Rotor Design and Analysis", rapport de contrat, janvier 1983.

M.B. Munro, A. Miyase, R.C. Flanagan et al., "Advanced Materials and Manufacturing Studies for Fibre Composite Flywheels", rapport de contrat, janvier 1983.

M.B. Munro, A. Miyase, R.C. Flanagan et al., "Basic Materials Studies for Fibre Composite Flywheels", rapport de contrat, janvier 1983.

Université McGill

A. Eisenberg et E. Besso, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport de l'AIE, septembre 1981.

A. Eisenberg et E. Besso, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production", rapport final, rapport de l'AIE, mai 1983.

E. Besso et A. Eisenberg, "Stress-strain Study of Aromatic Ionomer Films", compte rendu de l'AIE, 1984.

D. Biro, R. Murali et A. Eisenberg, "Characterization and Mechanical Properties of Aromatic Ionomer Films", atelier du groupe VII sur l'hydrogène de l'AIE, juin 1985.

Université McMaster, Département de la métallurgie et des sciences des matériaux

D.A. Thompson et W.W. Smeltzer, "Ion Implantation of Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction", rapport final, rapport de l'AIE, avril 1980.

D.A. Thompson, W.W. Smeltzer et J.A. Davies, "Effect of Ion Implantation on the Oxygen Overpotential of Ni Anodes", compte rendu de l'atelier de l'AIE sur la production d'H_2 par électrolyse, London, mai 1981.

D.A. Thompson et W.W. Smeltzer, "Advanced Electrolyser Development - Ion Implantation of Electrocatalysts", phase II, rapport de l'AIE, avril 1981.

D.A. Thompson et W.W. Smeltzer, "Modification of Ni Anodes by Ion Implantation and Ion Beam Mixing", compte rendu de l'annexe IV de l'AIE, atelier sur la mise au point d'un électrolyseur amélioré, Passedena, Californie, mai 1982.

D.A. Thompson et W.W. Smeltzer, "Advanced Electrolyser Development Implantation of Catalysts", phase III, avril 1982.

D.A. Thompson et W.W. Smeltzer, "Implantation of Catalysts", compte rendu de l'annexe de l'AIE, atelier IV sur la mise au point d'un électrolyseur amélioré, ISPRA, Italie, mai 1983.

Université McMaster

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium Base Alloys", rapport annuel, avril 1979.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium Base Alloys", phase I, rapport annuel, avril 1980.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium Base Alloys", phase II, 1980-1981.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Manganese Base Alloys", phase III, 1981-1982.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium and Iron Manganese Base Alloys", Phase IV, rapport final 1982-1983.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Manganese Base Alloys", phase IV, rapport final 1983-1984.

W.W. Smeltzer, "High Temperature Materials: Sulfidation and Carburization Properties of Iron-Chromium Base Alloys and Corrosion Resistant Materials", rapport final, 1984-1985.

P.S. Nicholson, "Construction of Ceramic Electrolyte Test Cell with Preliminary Tests", rapport final 1980-1981.

Université Queen's

M. Sayer, E. Prasad et P.S. Nicholson, "Ceramic Hydrogen Ion Conductors", rapport de l'AIE, novembre 1979.

M. Sayer, A. Teitsma et P.S. Nicholson, "The Selection, Preparation and Characterization of Hydrogen Ion Conductors", Phase I, rapport final, septembre 1980.

M. Sayer et A. Teitsma, "The Selection, Preparation and Characterization of Hydrogen Ion Conductors", rapport de l'AIE, décembre 1980.

M. Sayer, A. Teitsma, S.L. Segel, D. Amm, P.S. Nicholson et M. Nagai, "Ceramic Proton Conductors Based on β"-Aluminas", atelier de l'Agence internationale de l'énergie sur H_2, London, mai 1981.

M. Sayer et P.S. Nicholson, "The Selection, Preparation and Characterization of Ceramic Hydrogen Ion Conductors", Phase II, rapport final, rapport de l'AIE, septembre 1981.

M.F. Bell, M. Sayer, P.S. Nicholson et K. Yamashita, "Medium Temperature Vapour Phase Electrolysis using β"-alumina", réunion de l'Agence internationale de l'énergie, Toronto, juillet 1984.

P.S. Nicholson, M.F. Bell, M. Sayer et K. Yamashita, "Method of Converting a Precursor Ceramic Solid into a Solid Ceramic Hydronium Conductor", demande de brevet canadien présentée le 20 décembre 1983.

P.S. Nicholson, M. Nagai, K, Yamashita, M.F. Bell, M. Sayer et D.S. Smith, "The Preparation of a Precursor Solid for the Manufacture of a Ceramic Hydrogen Ion Conductor", demande de brevet canadien présentée le 23 juin 1983.

M. Sayer et P.S. Nicholson, "The Selection, Preparation and Characterization of Ceramic Hydrogen Ion Conductors, phase V - Final Report", septembre (1984).

M.F. Bell, M. Sayer, B.A. Judd, P.S. Nicholson et M.Z.A. Munshi, "Synthesis and Use of β"-Alumina for Steam Electrolysis", Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

Université Simon Fraser

B.L. Funt, "A Device for Electrochemical Storage of Photo Energy", rapport final, janvier 1979.

Université York

M. Heamstead, M. Melnik, A. Nevin, W. Liu, A.B.P. Lever et C.C. Leznoff, "Binuclear Phthalocyanines as Model Electrocatalysts for the Reduction of Oxygen", Groupe IV sur l'hydrogène de l'AIE, juillet 1985.

Publications du programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie

J.B. Taylor, "Electrochemical Energy Storage - A Strategy for Canadian R et D", Chemistry in Canada, 32: 25-29; 1980.

"Hydrogen Energy - Canadian perspectives", Compilation de trois publications de J.J. Murray et J.B. Taylor de la Division de chimie du CNRC, avril 1981.

J.E.A. Alderson et J.B. Taylor, "Hydrogen and Energy Storage - Status Report 1982", avril 1982.

J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy et J.B. Taylor, "Hydrogen & Energy Storage - Status Report", CNRC 21081, avril 1983.

M. Hammerli, "CANDU with Hydrogen" Int. J. Hydrogen Energy, 8(4): 269; 1983.

J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy et J.B. Taylor, "Hydrogen et Energy Storage - Status Report", CNRC 23336, avril 1984.

"Hydrogen Energy in Canada - II", Numéro spécial de l'International Journal Hydrogen Energy, 9(1/2): 1984; inclut J.B. Taylor, "Hydrogen Energy Prospects in Canada" et M. Hammerli, "When Will Electrolytic Hydrogen Become Competitive".

R.D. Champagne, R.D. Hay, P. Hoffman, R.L. LeRoy, C. Salama, et J.B. Taylor, "Transitions to Hydrogen", présentation pour la 5^{e} Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto 1984.

"Hydrogene Energy Progress V", compte rendu de la 5^{e} Conférence mondiale sur l'hydrogène pour l'énergie, Toronto, Canada, juillet 1984, édité par T.N. Veziroglu et J.B. Taylor, Pergamon Press.

J.R. Whitehead et J.B. Taylor, "The International Energy Agency Cooperative Programs on Hydrogen: Past Achievements and Future Potential", doit être publié dans Int. J. Hydrogen Energy.

J.B. Taylor, J.E.A. Alderson, K.M. Kalyanam, A.R. Lyle et L.A. Philipps, "Technical and Economic Assessment of Methods for the Storage of Large Quantities of Hydrogen", doit être publié dans Int. J. Hydrogen Energy.

J.E.A. Alderson, M. Hammerli, J.R.B. Murphy et J.B. Taylor, L'hydrogène et le stockage de l'énergie - Rapport de l'avancement", CNRC 24424, avril 1985.

Au moment de la rédaction du présent aperçu général, les rapports finals sur les activités du programme données à contrat n'avaient pas été présentés.

Ballard Technologies Corporation

A.E. Steck, "Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production," novembre 1985.

B.C. Hydro

"Fuel Cell Power Plant Testing Program"

Daychem Laboratories Inc.

"Preparation, Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membranes for Hydrogen Production"

Electrofuel Manufacturing Co.

"Boron Nitride Battery Separator Phase III: Pilot Plant Development".
"Development of Molten Salt Secondary Battery - Bicell Fabrication - phases I and II"

Intitute for Hydrogen Systems

"Vibration Testing of an On-board Liquid Hydrogen Dewar"

Université McGill

"A Study of the Mechanical Properties of Selected Aromatic Ionomers for Use as Membrane Materials in Advanced Alkaline Electrolysers - Phase IV"

"Preparation Characterization and Development of Aromatic Ionomer Membrane for Hydrogen Production", rapport final.

Mines Noranda Ltée.

"Technology Development of Electrolytic Production of Hydrogen".

Ontario Research Foundation

"Development and Assessment of Glass Microcapsules for Hydrogen Storage, Phase III".

Queen's University

"The Selection, Preparation and Characterization of Ceramic Hydrogen Ion Conductors" - Phase VI, rapport final.

Université d'Ottawa

"Construction and Extended Testing of Final Rotor Designs, and Final Documentation of Flywheel Program".

Université de Toronto

"Injection Hydrogen Fueled Diesel Engines with Ignition Assist."

Université York

"The Development of Multi-Electron Electrocatalysts."

ANNEXE D : PRINCIPAUX PARTICIPANTS

La liste qui suit des principaux participants au Programme de l'hydrogène et du stockage de l'énergie est présentée en ordre alphabétique sous les rubriques du sous-programme utilisé à la partie 6 intitulée : Contenu du programme.

PRODUCTION D'HYDROGÈNE ÉLECTROLYTIQUE

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Atlantic Industrial Research Institute	Mr. G.P. Wilson 902-429-8300 Ext. 145	Électrocatalyseurs
Ballard Technologies Corp.	Dr. K.P. Prater 604-986-4104	Membranes et séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés
Daychem Laboratories Inc.	Dr. F.W. Harris Akron, U.S.A. 216-375-7511	Membranes et séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés
Ecoplastics Ltd.	Dr. J.E. Guillet Dr. M. Heskins 416-499-3060	Séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés
Electrolyser Corp.	Mr. A.K. Stuart 416-621-9410	Sous-traitant de Mines Noranda Ltée
Gould Manufacturing of Canada Limited	Dr. K.V.N. Rao Dr. R. Swaminathan Dr. R. Gopal 416-871-5600	Électrolyseurs pour l'électrolyse de l'eau
Life Systems Incorporated	Dr. F.H. Schubert Cleveland, U.S.A. 216-464-3291	Petits électrolyseurs
Mines Noranda Ltée	Dr. R.L. LeRoy 514-697-6640	Électrolyseurs d'eau

PRODUCTION D'HYDROGÈNE ÉLECTROLYTIQUE (Suite)

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Raylo Chemicals Ltd.	Dr. R. Vukov Dr. J. Prescott 403-469-7601	Séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés
Sheritt Gordon Mines Limited	Mr. R.W. Fraser 403-998-6911	Sous-traitant pour Mines Noranda Ltée
Université de Calgary	Prof. H.L. Yeager Dr. A.E. Steck 403-284-5370	Propriétés ioniques des membranes pour électrolyseurs perfectionnés
Université Carleton	Mr. M.D. Guiver 613-993-0198	Membranes pour électrolyseurs perfectionnés
Université McGill	Prof. A. Eisenberg 514-392-4444	Membranes et séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés
Université McMaster	Dr. D.A. Thompson Prof. W.W. Smeltzer 416-525-9140 Ext. 4563 Dr. P.S. Nicholson 416-525-9140 Ext. 4977	Séparateurs pour électrolyseurs perfectionnés Sous-traitant pour Université Queen's
Université Queen's	Prof. M. Sayer 613-547-6176	Céramiques pour électrolyseurs à température élevée
Université de Toronto	Prof. C.A. Ward 416-987-3050	Formation de bulles dans les électrolyseurs
Université York	Dr. A.B.P. Lever 416-667-2309	Électrocatalyseurs pours les électrolyseurs perfectionnés

THERMIQUE

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Energy Research Corporation	Dr. E. Bilgen 514-344-4711	Production thermochimique d'hydrogène

UTILISATION DE L'HYDROGÈNE ANALYSE DES SYSTÈMES

B.C. Hydro	Mr. L.A.J. Roosdahl 604-663-4243	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous
CanOcean Resources Limited	Mr. C. Ostick	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous
Costain Petrocarbon Limited	Mr. J. Mills 403-252-9711	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous
Chemetics International Co.	Mr. R.E. Knowlton	Nouvelles utilisations de l'hydrogène
Highquest Engineering Inc.	Dr. B.G. Keefer 604-687-2859	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous
Hydrogen Industry Council	Mr. R.D. Champagne 514-288-5139	Planification du programme
Jarvis Clark	Mr. P.H. French 416-632-4940	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous
Urban Transportation Development Corp.	Mr. D. Ference 613-389-9978	Sous-traitant pour Chemetics, voir ci-dessous

STOCKAGE

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
CANATOM Inc.	Mr. L.A. Phillips 514-879-4511	Stockage en vrac de l'hydrogène
Ontario Research Foundation	Dr. S. Johar 416-822-4111	Stockage de l'hydrogène
Université de Toronto	Dr. F.D. Manchester 416-978-2978	Hydrures

SÛRETÉ

Énergie atomique du Canada Ltée	Dr. R. Dutton 204-853-2311	Sous-traitant pour Canatom, voir ci-dessous
	Dr. H. Tamm	Membre du Comité de sûreté de l'hydrogène
B.C. Hydro et compagnie d'électricité	Mr. R.M. Caines 604-663-4417	Membre du Comité de sûreté de l'hydrogène
Canatom Inc.	Mr. J. Riley 416-366-9421	Fragilisation de l'hydrogène
Chemetics International Limited	Mr. R.E. Knowlton 604-734-1200	Sûreté de l'hydrogène Secrétaire exécutif du Comité de sûreté de l'hydrogène
Hydrogen Industry Council	Dr. D.R. Hay 514-288-5139	Président du Comité de sûreté de l'hydrogène

SÛRETÉ (Suite)

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Institute for Hydrogen Systems	Mr. G. Hayward 416-828-7700	Réservoirs d'hydrogène liquide Membre du Comité de sûreté de l'hydrogène Sous-traitants de Canatom, voir ci-dessus
Ontario Research Foundation	Dr. J. Lo 416-822-4111	Sous-traitant de Canatom, voir ci-dessus
Union Carbide Canada	Mr. D.W. Kirkwood 416-488-1444	Membre du Comité de sûreté de l'hydrogène

PILES À COMBUSTIBLE

B.C. Research	Dr. V.A. Mode 604-224-4331	Sous-traitant de B.C. Hydro, ci-dessus
B.C. Hydro	Dr. H.M. Ellis Dr. M. Papic 604-591-0200	Programme de pile à combustible
DSMA Atcon Limited	Mr. A.P. Bullock 416-239-3011	Planification des essais des piles à combustible
HSA Reactors Limited	Mr. Fleet 416-789-7593	Sous-traitant de DSMA Atcon Limited, voir ci-dessus
Institute for Hydrogen Systems	Dr. D.S. Scott 416-828-7700	Accord de contribution fédérale

PILES À COMBUSTIBLE (Suite)

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Science Applications International Corporation	Mr. W.C. Racine LaJolla, Ca. USA	Programme de pile à combustible de 40 kW
United Technologies	Mr. A.P. Meyer South Windsor, CONN U.S.A. 203-727-2214	Programme de pile à combustible de 40 kW

MOTEURS

Associated Kellogg Limited Toronto	Mr. L. Blake 416-252-5311	Petits systèmes à l'ammoniac
Chemetics International Limited	Mr. R.E. Knowlton 604-734-1200	Sûreté de l'ammoniac
Engelhard Industries of New Jersey, U.S.A.	Mr. A. Stawsky 201-321-5234	Décomposition du méthanol pour carburant de véhicules
Manitoba Research Council Winnipeg	Mr. D.E. Mathers 204-945-6122	Moteur alimenté à l'ammoniac
Midwest Detroit Diesel Limited, Winnipeg	Mr. B. Norrie 204-452-8244	Sous-traitant du Manitoba Research Council voir ci-dessus
Ontario Research Foundation	Dr. A. Lawson 416-822-4111	Décomposition du méthanol pour carburant de véhicules Planification du programme SERI, voir ci-dessus

MOTEURS (Suite)

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
Pratt et Whitney Canada Limitée	Mr. H.C. Eatock 514-677-9411	Combustion de l'hydrogéne dans les turbines à gaz
Solar Energy Research Institute, Denver, Colorado	Dr. H. Chum 303-231-7249	Méthanol dissocié pour carburant de véhicule
Université de Toronto	Dr. J.S. Wallace 416-978-3043	Moteurs à l'hydrogéne

STOCKAGE DE L'ÉNERGIE PILES PERFECTIONNÉES

Alcan international Limitée	Dr.N.P. Fitzpatrick 613-549-4500	Accumulateur Al/air
Blue Mountain Pottery Limited	Mr. R.L. Miller 705-445-3671	Séparateur pour piles Li/FeS
Electrofuel Manufacturing Company	Dr. S. Das Gupta 416-533-7368	Accumulateurs Li/FeS
IREQ, Hydro-Québec	Dr. G. Bélanger 514-652-8231	Piles Li/FeS
M.K. Murthy Associates	Dr. M.K. Murthy 416-920-6188	Conseiller en céramiques pour les piles à grande puissance
Ontario Research Foundation	Dr. S. Johar 416-822-4111	Sous-traitant de Blue Mountain, voir ci-dessus

SOUS-SYSTÈMES DE VÉHICULE

Davis Engineering Ottawa	Mr. R. Davis 613-748-5500	Sous-systèmes de véhicule
Université d'Ottawa	Dr. R. Flanagan 613-231-4093 613-231-5700	Mise au point d'un volant d'inertie

STOCKAGE THERMIQUE

Acres Consulting Services Limited	Mr. I. McCaig 416-354-3839	Thermo-pompes chimiques
American Electric Power Service Corp. Ohio, U.S.A.	Mr. W. Coleman	Essais sur place de chaudières à stockage thermique
Chromalox Canada Limited	Mr. L.E. Toffolo 416-677-4614	Chaudière à stockage thermique pour le chauffage ambiant électrique
Minnesota United Power Minn. U.S.A.	Mr. V. Lehronger 612-441-3121	Essais sur place de chaudières à stockage thermique
Ontario Hydro	Mr. J.R. McRae 416-592-3780	Essais sur place de chaudières à stockage thermique
Ontario Research Foundation	Dr. S. Johar	Chaudière à stockage thermique pour le chauffage ambiant électrique

PLANIFICATION DU PROGRAMME

MDN/Établissement de la défense à Ottawa	Dr. W.A. Adams 613-998-2347	Planification du programme

PLANIFICATION DU PROGRAMME (Suite)

ORGANISME	NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DES PERSONNES-RESSOURCES	SUJET
CNRC - Division de chimie	Dr. J.J. Murray 613-993-2506	Planification du programme
EMR/CANMET	Dr. S.M. Ahmed 613-995-4707	Planification du programme
Escher Technology Associates	W.J.D. Escher	Planification du programme
Gouvernement du Québec	Mr. G. Délage 418-643-1283	Planification du programme
Hydro-Québec (IREQ)	Dr. G. Bélanger 514-652-8231	Planification du programme
Minstère de l'Énergie de l'Ontario	Dr. R. Higgin 416-065-4366	Planification du programme
Ontario Hydro	Mr. A.G. Barnstaple 416-592-5209	Planification du programme